

Національна академія наук України
Донецький ботанічний сад НАН України
Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПЕТРУШКЕВИЧ ЮЛІЯ МИКОЛАЇВНА

УДК 581.522.4 – 01/07+582.632.1(477.63)

ДИСЕРТАЦІЯ

ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ *BETULA PENDULA* ROTH В УМОВАХ КРИВОРІЖЖЯ

03.00.16 – екологія

Біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Петрушкевич Ю. М.

Науковий керівник:

Коршиков Іван Іванович,
доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.16 «Екологія» – Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара МОН України, Дніпро, 2021.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню життєздатності *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя, а саме впливу вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу на морфо-анатомічні та фізіологічні параметри досліджуваного виду, а також особливостей поселення *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя та формування на них локальних популяцій.

Для проведення комплексних досліджень життєздатності *B. pendula*, було відібрано 8 дослідних ділянок, які знаходяться в умовах різного рівня аеротехногенного забруднення: незначного – Криворізький ботанічний сад НАН України (умовний контроль), сквер «Поляна казок», парк Героїв АТО, помірного – біля трьох автомагістральних шляхів, високого – поблизу гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів. Дослідження популяційної структури *B. pendula* проводили на 4-х залізорудних відвалах Криворіжжя, а кореневої системи самосіву – на шести.

За шкалою В. А. Алексєєва (1989) встановлено, що з підвищенням аеротехногенного забруднення знижується відносний життєвий стан насаджень *B. pendula*: у зонах з незначним та помірним рівнем забруднення деревостани оцінені як «здорові», а з високим – «пошкоджені». Крім того, у міру наближення до джерела забруднення у насадженнях збільшується кількість дерев з сухою верхівкою крони від 3,3% до 63,3%, яка досягає 0,5–4 м залежно від місця зростання.

З'ясовано, що з погіршенням умов навколишнього середовища суттєво зменшуються біометричні показники дерев *B. pendula*: найбільша висота рослин і діаметр стовбура (17,2 м і 28,3 см), площа проєкції й об'єм крони (43,9 м², 319,7 м³) відмічені у контролі, а на інших дослідних ділянках ці параметри знижувалися до 30,8%, 26,1%, 57,4% та 75,7% відповідно. В куртинних посадках, де дерева щільно зростають одне біля одного, у особин, що знаходяться в центрі куртини, спостерігаються менші біометричні показники, ніж у периферійних, що є наслідком конкуренції за життєво необхідні ресурси.

При дослідженні морфо-анатомічних та фізіологічних параметрів асиміляційного апарату *B. pendula* з різних місць зростання у дерев виявлено високу чутливість до впливу вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів комбінатів. З погіршенням стану навколишнього середовища зменшуються розміри листка: довжина черешка – до 14,3%, довжина листкової пластинки та її ширина – відповідно до 8,4% та 12,8%. Установлено, що рівень флюктууючої асиметрії залежить від ступеня загазованості повітря: у контролі цей показник був найменшим – 0,017, у зонах з помірним рівнем забруднення був у середньому вище в 4 рази, тоді як умовах високого рівня забруднення – у 5,4 рази. За величиною інтегрального показника виявлено, що в зонах з незначним рівнем забруднення наявні сприятливі умови для зростання, а в інших – «критичні». Подібна тенденція відмічається й при підрахуванні листків із зігнутою верхівкою, де при незначному рівні забруднення кількість їх не перевищувала 7 шт., при помірному їх було в середньому в 4,3 рази більше, ніж у контролі, а у дерев при високому – у 7,3 рази.

Відмічено, що в умовах забрудненого середовища збільшується товщина листка *B. pendula* до 23,0% та його окремих тканин: верхнього епідермісу – до 35,0% і нижнього – до 47,9%, а також палісадної паренхіми – до 31,6% та губчастої – до 8,9% відповідно, що є адаптивною реакцією на несприятливі умови середовища.

Виявлено зміни й у продиховому апараті *B. pendula*, що спрямовані на збереження нормального функціонування процесів газообміну і транспірації, де з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення істотно зменшувалися розміри продохів, однак збільшувалась їх щільність розташування на 1 мм² листової пластинки, максимально у 1,5 рази.

Висока чутливість асиміляційного апарату підтверджується даними, отриманими при дослідженні пігментного комплексу *B. pendula*, де з наростанням техногенного навантаження у листках знижувався вміст хлорофілів *a* до 15,2% і *b* – до 24,0% порівняно з контролем упродовж усього вегетаційного сезону, більш значне зменшення кількості зелених пігментів спостерігається на територіях, де відзначається високий рівень сонячної інсоляції. Вміст каротиноїдів, що виконують фотопротекторну функцію, підвищувався до 21,4% з підвищенням рівня техногенного забруднення. За зміною показників співвідношень $\text{хл.}a/\text{хл.}b$ ($\text{хл.}a + \text{хл.}b$)/каротиноїди встановлено, що в забрудненому середовищі відбувається перебудова ультраструктури хлоропластів у сторону «світлового» типу, що забезпечує підвищення ефективності засвоєння світла та рівня захисту мембран хлоропластів від фотодеструкції.

Виявлено, що *B. pendula* на залізородних відвалах Криворіжжя є піонером та здатна до насіннєвого самовідновлення, формуючи, при цьому, локальні популяції. На техногенно порушених ландшафтах дерева мають «здоровий» життєвий стан та біометричні параметри в межах норми. На залізородних відвалах Криворіжжя спостерігається зміна життєвої форми *B. pendula*: відповідно до класифікації О. О. Чистякової (1988) зустрічаються поростеутворюючі, небагато- та багатостовбурові особини. Десять з 11 популяційних локусів за віковою структурою є молодими і 1 зрілий, з яких рослини у 6 локусах спроможні до повного самовідновлення, а в інших 5-ти, підріст здатний відновити лише 58–89% особин генеративного віку після їх відмирання. За віталітетною структурою 8 популяційних локусів віднесені до

процвітаючого типу, а 3 – до депресивного, що залежить від відмінностей у породному складі відвалів.

Визначено, що *V. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя формує поверхневу кореневу систему, яка зосереджена у верхніх шарах субстрату. Морфометричні параметри кореневої системи залежать від щільності субстрату, з підвищенням якого у *V. pendula* відмічаються більш довгі та тонкі корені, що є адаптивним пристосуванням до специфічних умов зростання.

При дослідженні репродуктивної сфери *V. pendula* відмічено, що з посиленням впливу аерополютантів на рослини достовірно зменшувались морфометричні параметри пилкових зерен, погіршувалась їхня якість та уповільнювався ріст пилкової трубки при проростанні пилку в лабораторних умовах. Всього у ході досліджень пилкових зерен виявлено 12 видів різних аномалій, які відносяться до 5 типів залежно від певної ознаки: за розміром, кількістю апертур, симетрією, архітектурою оболонки та складні аномалії. На усіх дослідних ділянках найчастіше зустрічався пилко з 4-ма апертурами, деякі аномалії виявлені лише у насаджень, які знаходяться у зоні високого рівня забруднення (пилко з асиметричними апертурами, складні). Кількість морфологічно порушених пилкових зерен пропорційно збільшувалася з підвищенням рівня забруднення і досягала максимуму в зонах найбільшого впливу шкідливих речовин.

В урботехногенних умовах середовища вихлопні гази автотранспорту та шкідливі викиди комбінатів призводять до підвищення насінневої продуктивності практично на всіх дослідних ділянках і до погіршення якості насіння, де при цьому його схожість зменшувалася від 17,7% – в контролі до 1–2% – у зоні високого рівня забруднення (біля комбінатів).

Проведені дослідження показали високу чутливість різних параметрів *V. pendula* в урботехногенних умовах середовища, тому цей вид може використовуватися в якості біоіндикатора довкілля, а висока адаптивність *V. pendula* до техногенно порушених ландшафтів може значно здешевити

рекультивацію в різних регіонах, якщо ціленаправлено використовувати цей вид для озеленення.

Ключові слова: Криворіжжя, забруднення, життєздатність, *Betula pendula* Roth, життєвий стан, листок, флуктуюча асиметрія, продихи, пігменти, популяційний локус, самосів, корінь, пилок, аномалії, насіння.

SUMMARY

Petrushkevych Y. M. Viability of *Betula pendula* Roth in Kryvyi Rih area. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences (Doctor of Philosophy) in the specialty 03.00.16 «Ecology» – Dnipro National University. Oles Honchar MSE of Ukraine, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the study of the viability of *Betula pendula* Roth in the conditions of Kryvyi Rih area, namely the influence of vehicle exhaust gases and harmful emissions from industrial enterprises of the mining and metallurgical complex on the morpho-anatomical and physiological parameters of the studied species and the peculiarities of the settlement of *B. pendula* on the Kryvyi Rih area iron ore dumps and the formation of local populations thereon.

For the purpose of complex studies of the viability of *B. pendula*, there are 8 research sites were selected, that exposed to different levels of technogenic pressure: to a low pollution level – Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine (conditional control), Polyana Kazok Square, Heroes' Park of ATO, to an average pollution level – near three motorways, and high pollution level – near mining and metallurgical plants. The research of the population structure of *B. pendula* were performed on 4 iron ore dumps of Kryvyi Rih area, and the root system of the self-seeding – on six.

According to the scale of V. A. Alekseev (1989) it is established that with increasing of aeroerogenic pollution in plants *B. pendula* it decreases relative life status of plantations: the tree stands are rated as «healthy» in the areas with background and average pollution, and «damaged» are with high pollution. In

addition, with approximation to the source of contamination in the plantation, the number of trees with a dry crown increases from 3.3% to 36,7% pieces, which reaches 0.5–4 m, depending on the growth site.

It was found that with deteriorating environmental conditions the biometric indices of *B. pendula* trees significantly decreased: the largest plant height and trunk diameter (17.2 m, 28.3 cm), projection and volume of crown (43.9 m², 319.7 m³) were marked in control, and the biometric indices were reduced to 30.8%, 26.1%, 57.4% and 75.7% respectively in other research sites. There are smaller biometric indicators than in the peripheral ones in the center of the flowerbed, which is a result of competition for vital resources.

During the research of the morpho-anatomical and physiological parameters of the *B. pendula* assimilation apparatus from different places of growth in trees revealed high variability of parameters under the influence of vehicle exhausts and harmful emissions from the plants. With the deterioration of the environment, the size of the leaf decreases: the length of the petiole – up to 14.3%, the length and width of the leaf blade – up to 8.4% and 12.8% respectively. It was found that the level of fluctuating asymmetry is directly dependent on the degree of air contamination: in the control this indicator was the lowest – 0,017, in areas with average pollution it was on average 4 times higher, and under conditions of high pollution – 5.4 times. By the value of the integral index it was found that in the zones with low pollution level favorable conditions of growth are available, and in others – “critical”. A similar trend is observed when calculating the number of leaves with a curved apex, where at the load level of contamination of such leaves did not exceed 7 pieces, in areas with average pollution there were on average 4.3 times more than in the control, and in trees growing with high pollution – 7.3 times.

It is noted that under contamination conditions, the thickness of *B. pendula* leaf increases up to 23,0% and its individual tissues: the upper and lower epidermis – up to 35,0% and 47.9%, as well as the palisade and spongy parenchyma – up to

31.6% and 8.9%, respectively, which is an adaptive response to adverse environmental conditions.

Changes were also found in the *B. pendula* breathing apparatus, aimed at preserving the normal functioning of gas exchange and transpiration processes, where as the technogenic load increased, the sizes of breaths significantly decreased, but their density increased by 1 mm² of the leaf blade, by a maximum of 1.5 times.

High sensitivity of the assimilation apparatus is confirmed by the data obtained in the study of the pigment complex *B. pendula*, where with increasing technogenic influence in the leaves decreased the content of chlorophylls *a* to 15.2% and *b* – to 24.0% compared with the control throughout the growing season, a more significant decrease the amount of green pigments is observed in areas with high levels of solar insolation. The content of carotenoids performing photoprotective function increased to 21.4% with increasing levels of man-made pollution. By changing the indexes of chl.*a*/hl.*b* and (chl.*a* + chl.*b*) / carotenoids, it was found that under the conditions of contamination, the ultrastructure of the chloroplasts is changed towards the "light" type, which improves the efficiency of absorption of light and the level of protection of the chloroplast membranes from photodestruction.

B. pendula has been found to be an active pioneer in the Kryvyi Rih iron ore dumps and capable of seed self-healing while forming local populations. On technogenically disturbed landscapes, trees have a "healthy" state of life and biometric parameters within normal limits. Iron ore dumps of the Kryvyi Rih area change the life form of *B. pendula*: according to the classification of O. O. Chistyakova (1988), there are growth-forming, few and multitrunks individuals. An analysis of age structure showed that 10 out of 11 population loci are young and 1 ripening, of which plants in 6 loci are capable of complete self-renewal, and in the other 5, undergrowth is capable of restoring only 58–89% of individuals of generative age after their dying. According to the vital structure, 8

population loci are classified as a prosperous type and 3 are depressed, which is associated with differences in the waste heaps.

It was determined that *B. pendula* on the iron ore dumps of Kryvyi Rih area forms a superficial root system, the bulk of which is concentrated in the upper layers of the substrate. Morphometric parameters of the root system depend on the density of the substrate, with the increase in *B. pendula* longer and thinner roots are noted, which is an adaptive adaptation to specific growth conditions.

In the study of the reproductive sphere of *B. pendula* it was noted that with the increase of the influence of harmful substances on the plants, the morphometric parameters of pollen grains significantly decreased, their quality deteriorated and the growth of the pollen tube during the germination of pollen in laboratory conditions slowed down. Total in the course of research its studied, 12 species of different pollen grain anomalies were identified, which belong to 5 types depending on a particular trait: size, number of apertures, symmetry, shell architecture, and complex anomalies. At all research sites the most common was the pollen with 4 apertures, some anomalies were noted only in plantations that are in an area of high pollution (pollen with asymmetric apertures, complex). The number of morphologically disturbed pollen grains increases proportionally with the level of contamination and reaches a maximum in the zones of highest exposure to harmful substances.

In urban environment, vehicle exhaust and harmful emissions from enterprises lead to an increase in seed productivity at all research sites and to a decrease in the quality of seeds, where germination in laboratory conditions of seeds collected from different places of growth decreased from 17.7% in control. 1–2% – are in an area of high pollution (near the plants).

Studies have shown a high sensitivity of different parameters of *B. pendula* in urban environment, so this species can be used as a bioindicator of the environment, and the high adaptability of *B. pendula* to man-made landscapes can significantly reduce reclamation in different regions, if targeted use of this species for landscaping.

Key words: Kryvyi Rih area, pollution, viability, *Betula pendula* Roth, life status, leaf, fluctuating asymmetry, stomata, pigments, population locus, self-renewal, root, pollen, anomalies, seeds.

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографія:

1. Коршиков І. І., Сулова О. П., Петрушкевич Ю. М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання розділу 4*).

Публікації у наукових зарубіжних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

2. **Петрушкевич Ю. М.** Оцінка екологічного стану Кривого Рогу за допомогою пилку *Betula pendula* Roth. *The scientific heritage*. 2019. Vol. 2, N. 40. P. 12–16. (eLIBRARY.RU, Index Copernicus International, International Scientific Indexing, General Impact Factor, SIS, DIIF, Issuu, SlideShare, Calaméo).

Публікації у наукових фахових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

3. **Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I.** Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005. (Категорія журналу «А», Web of Science, National Center for Biotechnology Information, DOAJ, UlrichsWeb, CABI - Helminthological Abstracts, CrossRef, EBSCOhost, Google Scholar Metrics, National Library of Ukraine Vernadsky, Vancouver Public Library, Universiteitsbibliotheek Gent, University Library Lugano, BIU Santé, CyberLeninka, BASE - bielefeld Academic Search Engine, Vsenauki.ru, Scilit). (*Особистий внесок: аналіз*

літературних джерел, збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних).

4. Коршиков І. І., **Петрушкевич Ю. М.** Популяційна структура *Betula pendula* (Betulaceae) на залізородних відвалах Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, Вип. 2. С. 90–103. DOI: 10.15407/ukrbotj77.02.090. (CAB Abstracts, DOAJ, CrossRef, ROAD, Index Copernicus (ICV 2018: 79.24), IPNI, Google Scholar, WorldCat-OCLC, Scientific Periodicals of Ukraine). (Особистий внесок: аналіз літературних джерел, збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних).

5. **Петрушкевич Ю. М.** Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Біологія*. 2018. № 1 (72). С. 82–89. (Index Copernicus з ICV 2015: 55.00, Directory of Research Journals Indexing, Journal Factor, Open Academic Journals Index, Scientific Indexing Services, Google Scholar).

Публікації у наукових фахових виданнях України:

6. Коршиков І. І., **Петрушкевич Ю. М.** Життєздатність *Betula pendula* Roth. в урбосистемі м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2017. № 1. С. 28–35. (Особистий внесок: збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних).

7. **Петрушкевич Ю. М.**, Коршиков І. І. Морфо-фізіологічна характеристика пилку *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 58–66. (Особистий внесок: проведено експериментальну роботу, здійснено статистичну обробку та аналіз даних).

8. **Петрушкевич Ю. М.** Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. Д. : ДНУ, 2018. Вип. 47. С. 39–47.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. **Петрушкевич Ю.** Особливості адаптації *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Молодь і поступ біології: збірник тез XII міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (19–21 квітня 2016 р., м. Львів).* Львів, 2016. С. 99–100.
10. **Петрушкевич Ю. М.** Використання *Betula pendula* в озелененні міст України. *Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки): матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2016», 23–24 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.).* Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2016. С. 128–131.
11. **Петрушкевич Ю. Н.** Самовозобновление берёзы повислой на отвалах Кривого Рога. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України: матеріали міжнародної наукової конференції (25–27 жовтня 2016 р., м. Дніпропетровськ).* Дніпропетровськ : Ліра, 2016. С. 53–54.
12. **Петрушкевич Ю. М.** Вплив промислових умов на морфометричні параметри *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Рослини та урбанізація: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (1–2 березня 2017 р., м. Дніпро).* Дніпро, 2017. С. 75–77.
13. **Петрушкевич Ю. М.** Морфометричні параметри листкової пластинки *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (5–10 вересня 2017 р., м. Луцьк).* Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 106.
14. **Петрушкевич Ю. М.** Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін: збірка статей міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (19–21 вересня 2017 р., м. Одеса).* Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.

15. **Petrushkevich Y.** *Betula pendula* on the iron ore dumps of the Kryvyi Rih. *Applied Biotechnology in Mining: agenda of the International Conference* (25–27th April, 2018). Dnipro, 2018. P. 34.

16. **Петрушкевич Ю. М.** Використання *Betula pendula* Roth як біоіндикатора стану навколишнього середовища м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених* (3–4 вересня, 2018 р., смт. Кирилівка). Кирилівка, 2018. С. 53.

17. Коршиков І. І., **Петрушкевич Ю. М.** Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції* (22–24 травня, 2019 р., м. Київ). Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41. (*Особистий внесок: проведено експериментальну роботу, аналіз результатів досліджень, оформлення матеріалів для публікації*).

18. **Петрушкевич Ю. М.** Анатомічна будова листків *Betula pendula* Roth в урботехногенних умовах. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених* (6–9 вересня 2019 року, м. Харків). Харків, 2019. С. 39.

19. **Петрушкевич Ю. М.** Морфоструктурні зміни *Betula pendula* Roth на залізорудних відвалах Кривбасу. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: збірник наукових праць за результатами роботи VI міжнародної науково-технічної конференції* (м. Кривий Ріг, 22 листопада 2019 року). Кривий Ріг, 2019. С. 195–196.

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1. БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА <i>BETULA PENDULA</i> ROTH У ПРИРОДНИХ ТА УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ СЕРЕДОВИЩА.....	25
1.1. Біолого-екологічна характеристика <i>Betula pendula</i>	26
1.2. Особливості зростання <i>Betula pendula</i> в урботехногенному середовищі.....	32
1.3. <i>Betula pendula</i> на техногенно порушених ландшафтах.....	48
РОЗДІЛ 2. РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	54
2.1. Природно-кліматичні умови Криворіжжя.....	54
2.2. Екологічний стан Кривого Рогу.....	68
2.3. Об'єкт і методи досліджень.....	70
РОЗДІЛ 3. ЖИТТЄВИЙ СТАН, БІОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЕРЕВ ТА МОРФО-АНАТОМІЧНА Й ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТКА <i>BETULA PENDULA</i> ROTH В УМОВАХ М. КРИВИЙ РІГ....	88
3.1. Характеристика зовнішніх ознак дерев <i>Betula pendula</i> залежно від рівня аеротехногенного забруднення.....	88
3.1.1. Життєвий стан насаджень <i>B. pendula</i>	88
3.1.2. Біометричні параметри дерев <i>B. pendula</i>	91
3.2. Морфо-анатомічні та фізіологічні показники асиміляційного апарату <i>Betula pendula</i>	95
3.2.1. Морфометричні параметри листків.....	95
3.2.2. Флуктуюча асиметрія листкової пластинки.....	98
3.2.3. «Зігнутість» верхівки листка як діагностичний показник рівня техногенного навантаження.....	101
3.2.4. Анатомічна будова листкової пластинки.....	102

	15
3.2.5. Будова продихового апарату листків.....	106
3.2.6. Сезонна динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках.....	109
Висновки до розділу 3.....	117
РОЗДІЛ 4. РОЗСЕЛЕННЯ, АДАПТИВНІ ЗМІНИ ТА ПОПУЛЯЦІЙНА СТРУКТУРА <i>BETULA PENDULA</i> ROTH НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ	122
4.1. Біометричні параметри дерев та популяційна структура <i>Betula pendula</i> у різних локусах на техногенного порушених ландшафтах.....	124
4.2. Розвиток кореневої системи різновікового самосіву <i>Betula pendula</i>	134
Висновки до розділу 4.....	140
РОЗДІЛ 5 РЕПРОДУКТИВНА ЗДАТНІСТЬ <i>BETULA PENDULA</i> ROTH В УРБОТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	144
5.1. Залежність чоловічої сфери рослин від ступеня і характеру забрудненості середовища.....	144
5.1.1. Морфометричні параметри тичинкових сережок.....	145
5.1.2. Морфологічні ознаки пилкових зерен.....	146
5.1.3. Аномалії пилку.....	148
5.1.4. Фертильність та стерильність пилку.....	152
5.1.5. Життєздатність пилку.....	155
5.2. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння.....	157
5.2.1. Морфометричні параметри маточкових сережок та їх насіннева продуктивність	157
5.2.2. Посівні якості насіння.....	162
Висновки до розділу 5.....	166

РОЗДІЛ 6. ВИКОРИСТАННЯ <i>BETULA PENDULA</i> ROTH У	168
БІОІНДИКАЦІЇ.....	
Висновки до розділу 6.....	175
ВИСНОВКИ.....	179
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	182
ДОДАТКИ.....	235

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

B. pendula – *Betula pendula* Roth

ВЖС – відносний життєвий стан

г – грам

га – гектарів

ГДК – гранично допустимі концентрації

Гр – Грей, одиниця вимірювання поглиненої дози іонізуючого випромінювання

д. д. – дослідні ділянки

КБС НАН України (КБС) – Криворізький ботанічний сад
Національної академії наук України

кг – кілограм

м – метрів

м. – місто

мкм – мікромметр

млн. – мільйон

мм – міліметр

н. е. – нашої ери

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – публічне акціонерне товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг»

ПАТ «ПівдГЗК» – публічне акціонерне товариство «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»

ПрАТ «ІнГЗК» – приватне акціонерне товариство «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

ПрАТ «ПівнГЗК» – приватне акціонерне товариство «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»

ПрАТ «ЦГЗК» – приватне акціонерне товариство «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»

рр. – роки, років

РУ – рудоуправління

с/г – сільсько-господарський

см – сантиметр

сmt. – селище міського типу

співавт. – співавтори, співавторами

ст. – століття

т. – тонн

тис. – тисяч

ВСТУП

Актуальність теми. З активним розвитком урбанізації в ХХ–ХХІ ст. у постійно збільшуються викиди токсичних речовин у навколишнє середовище, які, в свою чергу, забруднюють повітря, ґрунт, воду [26, 47, 211, 377, 404, 465, 482].

Для покращення умов середовища у містах почали висаджувати деревні рослини, які очищають повітря від шкідливих речовин, поглинаючи майже всі види хімічних сполук, які надходять у довкілля [9, 45, 46, 54, 58, 178, 240, 245, 295]. Однак, покращуючи стан навколишнього середовища, рослини часто самі потерпають від негативної дії токсикантів, що призводить до зміни їхніх біологічних параметрів, біохімічних особливостей та, в цілому, до зниження їхньої життєздатності [414].

В одному з найбільших промислових міст України – Кривому Розі рівень забруднення атмосферного повітря значно перевищує норму [100]. Більш як сторічний видобуток залізної руди та її переробка у Криворіжжі завдає значної шкоди навколишньому середовищу, що призводить не тільки до його забруднення, а й докорінної зміни природних ландшафтів [39]. Інтенсивний рух автотранспортних засобів у Кривому Розі зумовлює до ще більшого зростання загазованості повітря. Негативний ефект забруднення підсилюється несприятливими природно-кліматичними умовами, які у степовій зоні загострюються у зв'язку з кліматичними змінами, що викликає глобальне потепління.

Пристосуватись до урботехногенного середовища великого промислового степового міста складно деревним видам-інтродуцентам, яким за межами природного ареалу потрібно витримувати весь негативний комплекс дії екологічних чинників антропогенного і природного походження.

Серед дендрофлори Кривого Рогу важливе місце посідає береза повисла (*Betula pendula* Roth), яка є досить поширеною у насадженнях міста

[101, 102], а в останні 30-40 р. почала колонізувати техногенно порушені території Криворіжжя шляхом природного поселення, де вона є активним піонером [163]. *V. pendula* характеризується невисокою вимогливістю до екологічних умов середовища, тому завдяки своїм еколого-біологічним особливостям може зростати на різних територіях [210]. Однак є свідчення, що в техногенних умовах вона відзначається недостатньою стійкістю [243]. У багатьох державах *V. pendula* пропонують використовувати у якості біоіндикатора стану урботехногенного середовища [13, 25, 61, 149] тому набуває актуальності вивчення життєздатності *V. pendula* в умовах різного рівня забруднення. Досить значне поширення *V. pendula* у Кривому Розі, а також широкий діапазон різних за походженням забруднювачів середовища, перш за все комбінатів гірничо-металургійного комплексу та автотранспорту, створює передумови для визначення еколого-біологічних особливостей виживання цього декоративного виду в умовах промислового степового міста. Оскільки *V. pendula* активно поселяється на залізорудних відвалах та формує на цих територіях локальні популяції, важливим також є вивчення їхньої популяційної структури для прогнозу подальшого існування та ролі цього виду в оптимізації техногенно порушених ландшафтів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана протягом 2016–2019 рр. у відділі дендрології та природної флори Донецького ботанічного саду НАН України відповідно до плану науково-дослідної роботи Донецького ботанічного саду НАН України за темою: «Урбанодендрофлора промислових регіонів степової зони України: життєвість, перспективи поповнення та використання» (№ державної реєстрації 0116U000157) (2016–2020 рр.).

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – визначення життєздатності *V. pendula* в урботехногенному середовищі великого степового промислового міста та на залізорудних відвалах Криворіжжя.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні завдання:

- провести оцінку життєвого стану та біометричних характеристик дерев у насадженнях *B. pendula* за умов різного рівня аеротехногенного забруднення;
- визначити морфо-анатомічні та фізіологічні зміни у листків рослин *B. pendula* залежно від урботехногенного навантаження;
- вивчити популяційну структуру *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя;
- з'ясувати особливості морфоструктури кореневої системи різновікового самосіву *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя;
- дослідити морфологію пилку, його життєздатність та аномальні зміни у *B. pendula* під впливом різного рівня аеротехногенного забруднення;
- проаналізувати рівень насінневої продуктивності та посівні якості насіння *B. pendula* в умовах Кривого Рогу;
- здійснити комплексний аналіз змін у *B. pendula* під впливом аерополітантів та визначити найбільш інформативні показники для можливості їх використання у біоіндикації.

Об'єкт дослідження – міські насадження *B. pendula* в умовах різного рівня забруднення Кривого Рогу та локальні популяції виду на залізорудних відвалах Криворіжжя.

Предмет дослідження – комплекс біометричних, морфо-анатомічних, фізіологічних і репродуктивних показників, що характеризують життєздатність *B. pendula* в промислових умовах Криворіжжя.

Методи дослідження: польові (маршрутний – для закладання дослідних ділянок та збору матеріалу, візуальний – для оцінки життєвого стану рослин); таксаційні – для вимірювання біометричних параметрів дерев; морфометричні – для визначення морфологічних параметрів вегетативних та генеративних органів, анатомічні (мікроскопія – для дослідження анатомічної структури листкової пластинки, метод відбитків продихів – для дослідження продихового апарату листків); фізіологічні (спектрофотометричний – для

встановлення вмісту пігментів у листках); популяційної біології (аналіз вікової структури та віталітетний аналіз – для вивчення популяційної структури локальних популяцій на відвалах); лабораторні (цитологічний – для визначення морфометричних параметрів пилку, йодний – для дослідження якості пилку, метод пророщування – для вивчення життєздатності пилку і схожості насіння, вимірювально-ваговий – для визначення метричних характеристик насіння); математично-статистичні – для обробки даних.

Наукова новизна одержаних результатів. *Уперше:*

- досліджено життєздатність *V. pendula* в умовах різного рівня аеротехногенного забруднення, морфо-анатомічні та фізіологічні зміни в асиміляційних органах, репродуктивної здатності рослин унаслідок впливу емісій гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів, вихлопних газів автотранспорту на території Кривого Рогу;
- виявлено особливості колонізації, самовідновлення та самопідтримання *V. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя;
- з'ясовано морфоструктурні зміни надземної та підземної частин у рослин *V. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя;
- здійснено ранжування різних показників у *V. pendula* за ступенем чутливості до аеротехногенного забруднення у великому промисловому місті степової зони України та встановлені найбільш інформативні для цілей біоіндикації стану урботехногенного середовища.

Практичне значення одержаних результатів. Досліджені показники життєздатності *V. pendula* в різних насадженнях м. Кривий Ріг дають можливість диференційовано використовувати цей вид в озелененні великого степового міста залежно від функціонального призначення його території, а також для моніторингу стану навколишнього середовища. Встановлені біолого-екологічні аспекти формування локальних популяцій *V. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя можуть бути застосовані на практиці при

проведенні їх фіторекультивуації. Результати досліджень впроваджені в навчальний процес у закладах вищої освіти: Криворізькому державному педагогічному університеті, Львівському національному університеті ім. І. Я. Франка.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи здобувач отримав самостійно. Постановку завдань і розроблення програми досліджень було здійснено разом з науковим керівником д.б.н., професором І. І. Коршиковим. Протягом 2016–2019 рр. автор особисто проводив збір матеріалу, здійснив основний обсяг експериментальної частини дисертації, статистичної обробки результатів, підбір та опрацювання літературних джерел. Права співавторів у спільних публікаціях не порушені.

Автор висловлює велику вдячність своєму науковому керівнику д.б.н., професору І. І. Коршикову за консультації, постійну допомогу, цінні поради при обговоренні отриманих результатів, що надавалися на всіх етапах виконання дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень викладено та обговорено на засіданнях Вченої ради Донецького ботанічного саду НАН України (Кривий Ріг, 2016–2019 рр.). Матеріали дисертаційної роботи було апробовано на XII Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології» (Львів, 2016); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки)» (Крути, 2016); Міжнародній науковій конференції «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (Дніпропетровськ, 2016); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Рослини та урбанізація» (Дніпро, 2017); Міжнародній конференції молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Луцьк, 2017); Міжнародній науковій конференції «Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін», присвяченій 150-річчю

Ботанічного саду ім. академіка В. І. Липського Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (Одеса, 2017); Міжнародній конференції «Applied biotechnology in mining» (Дніпро, 2018); Міжнародній конференції молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Кирилівка, 2018); Міжнародній науково-практичній конференції «Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (присвяченій 180-річчю створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна) (Київ, 2019); Міжнародній конференції молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Харків, 2019); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК» (Кривий Ріг, 2019).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 19 наукових праць, з яких: 1 монографія, 6 статей у фахових виданнях України, з них 3 – входять до міжнародних баз даних, 1 – в іноземному виданні, яке індексується в міжнародних базах даних, 11 тез – у матеріалах зарубіжних та всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел (501 найменування, з них – 178 – іноземними мовами) та 6 додатків. Робота викладена на 248 сторінках комп'ютерного тексту, містить 22 таблиці та 25 рисунків.

РОЗДІЛ 1
БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА *BETULA*
***PENDULA* ROTH У ПРИРОДНИХ ТА УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ**
СЕРЕДОВИЩА

Види і форми роду береза (*Betula* L.) займають вагоме місце серед дендрофлори, які широко використовують в озелененні. У світовій флорі у роді *Betula* відомо більше 100 видів, різновидів, форм та гібридів, серед яких найпоширенішою є береза повисла (*Betula pendula* Roth), центром виникнення якої є Південно-Східна Азія [51, 225, 288].

B. pendula належить до відділу Magnoliophyta (покритонасінні), класу Magnoliopsysda (дводольні), порядку *Fagales* Engler (букоцвіті), родини *Betulaceae* S. F. Gray (березові), роду *Betula* L. (береза), секції *Albae* [45, 56, 224, 289, 325]. Відповідно до систематики Е. Л. Регеля [462] *B. pendula* відноситься до секції *Eubetula*, підсекції *Albae*. Х. Вінклер зазначав [498], що вона входить у секцію *Eubetula* та субсекцію *Albae*, А. К. Скворцов [474] – до підроду *Betula*, секції *Betula*, а К. Ашбурнер та Н. А. Маккалістер [326] її відносили до субсекції *Betula*, секції *Betula*.

У 1735 р. *B. pendula* отримала першу назву – *Betula alba*, яку надав їй К. Лінней [423]. Однак, у 1791 р. Дж. Ф. Ерхарт (Ehrhart) [362] виявив, що К. Лінней у найменуванні *Betula alba* об'єднав два різні види: березу бородавчасту – *Betula verrucosa* Ehrh. (з бородавчастими пагонами і голими дельтоподібними листками) і березу пухнасту – *Betula pubescens* Ehrh. (з опушеними молодими пагонами і овальним злегка опушеним листям). Ці назви отримали широке розповсюдження [349]. У 1738 р. Рот (Roth) виділив і описав березу повислу (*Betula pendula* Roth) як вид, характеристика якого відповідала біологічним особливостям *Betula verrucosa* Ehrh. [367]. На сьогодні замість назви береза бородавчаста використовують назву береза повисла, однак у літературі обидва найменування розглядають як синоніми [56, 349]. У європейських країнах цей вид має інші назви: європейська береза

– european birch [376], європейська біла береза – european white birch [495], срібна береза – silver birch [492].

1.1. Біолого-екологічна характеристика *Betula pendula*

У багатьох наукових працях зарубіжжя описано біолого-екологічну характеристику *B. pendula* та поширення її на Землі. Серед учених, які вивчали цей вид є: Е. Ф. Гілман та Д. Дж. Уотсон [376], П. Ваккарі [492], Е. О'Коннор [432] та інші [56, 88, 140, 150, 213, 289, 318, 360, 367, 426, 454, 473, 495].

B. pendula – листяне дерево зі швидким темпом росту до 20 м у висоту [89, 204, 244, 268], за іншими даними – до 30 м [15, 34, 56, 308, 332, 349, 473] або навіть до 25–35 висотою, діаметр стовбура варіює в межах 0,6–0,9 м, сягає віку 100–120 років [15, 43], а у сприятливих умовах – до 150 років [204, 349].

Крона широка, яйцеподібно-конічна, гладка, часто зі звисаючими гілками [84]. У молодих дерев кора стовбура тонка, гладка з бронзово-мідним відтінком, у старих – нижня частина стовбура покрита товстою кіркою з глибокими чорнуватими тріщинами, а верхня – білою, гладкою берестою [15, 34, 42, 278, 332, 349]. Береста – зовнішній шар березової кори, що утворюється з багатьох легко відокремлюваних один від одного тонких, еластичних, гладких, міцних шарів, які не пропускають вологу, повітря і практично не гниють. Щорічно ці шари прирастають, кора стає товщою. Для газообміну живих тканин, що лежать під пробкою, в корі служать черевички. У міру потовщення стовбура форма черевичок змінюється [56]. *B. pendula* – заболонна порода, забарвлення деревини є однаковим по всьому перерізу стовбура. Деревина білого кольору, має легкий жовтуватий або червонуватий відтінок, розсіяно-судинна. Річні шари на всіх розрізах слабо помітні. По зовнішній межі річних шарів наявна вузька темна смужка, що складається з щільної тканини – це пізня частина річного шару. Рання деревина забарвлена світліше [57]. Судини невеликі, на поперечному розрізі невидимі і

рівномірно-розсіяні. На поздовжніх розрізах пересічення уздовж судини створюють тонку, характерну для берези, штрихуватість, помітну лише під лупою. Серцевинні промені вузькі, за кольором вони не відрізняються від загального фону деревини, на якій відмічаються крапчасті або рископодібні серцевинні повторення [56].

Коренева система потужна, добре розвинена, головний корінь відсутній. Безліч бічних коренів розходяться майже горизонтально, близько до поверхні ґрунту [15, 43, 49, 244, 312, 405]. З. Валек [493] березу відносить до групи деревних порід з корінням середньої довжини, що досягає 6 м.

Однорічні пагони у дорослих дерев *B. pendula* червонувато бурі, оголені, з ледь помітними смолистими залозками – "бородавками". Наявність "бородавок" на молодих пагонах є видовою ознакою *B. pendula* [15, 34, 42, 56, 268, 308]. На подовжених пагонах більше чотирьох років кора покрита лише світлими чечевичками [56].

Кожної весни у *B. pendula* відбувається сокорух, ще його називають «плач берези». Він настає в кінці березня - на початку квітня і триває до кінця квітня - початку травня, який залежить від географічного положення. Це явище легко виявити, якщо після настання позитивних температур рано навесні зробити з південної сторони дерева на висоті грудей прокол шилом кори і частини шару деревини. При початку сокоруху з проколів у корі почнуть виступати крапельки соку, а через місяць у *B. pendula* можна спостерігати дві інші важливі фенологічні фази – появу першого листя і цвітіння [308].

Листки почергові довжиною від 3–4 см, досягає 7 см, на видовжених пагонах – трикутні, на укорочених – переважно ромбічні; з відтягнутою вершиною, край нерівноподвійнопилчастий, листкові пластинки оголені, зверху з легким блиском, восени жовті; черешок 2–3 см довжиною, жилок 6–8 пар [12, 15, 34, 49, 56, 84, 268, 278]. Існує думка, що з просуванням на північ у насадженнях переважає *B. pendula* з округлими й ширшими в основі листками, а південніше – з ромбічною формою [121].

Бруньки дрібні, темні, яйцеподібно-загострені, трохи клейкі [42]. У *V. pendula* є два типи бруньок – вегетативні (листяні) і генеративні. Вегетативні бруньки можуть бути термінальними (верхівковими) і аксиллярними (пазушними), у яких закладається до восьми зародкових листочків. Генеративні – бувають тичинковими (чоловічими) і змішаними. Бруньки, що несуть тичинкові квітки (генеративні), знаходяться, зазвичай, по два-три на вершині ростових пагонів [56]. Тичинкові й маточкові квітки утворюють суцвіття сережку, на осі якої вони розташовуються не поодинокі, а групами по 2–3 шт.; кожна така група покрита лусочкою. Тичинкові – складаються з 2–3-х тичинок. Пилок утворюється рясно та розноситься вітром [281, 319, 349]. У маточкових квітках наявна лише 1 маточка, яка утворюється з 2 плодолистиків. Формується верхня зав'язь, вона двогнізда з 2 сім'ябруньками, з яких утворюється лише одна насінина. Зимують маточкові квітки в лусочкових бруньках та стають видимими тільки у період цвітіння.

V. pendula – роздільностатева однодомна рослина [34, 241, 349, 433]. Сережки вузько циліндричні: тичинкові – звисаючі, розташовуються по 2–4 шт. на кінцях подовжених пагонів минулого року; маточкові – дуже тонкі, знаходяться на кінцях укорочених пагонів та стоять вертикально. Цвіте в той час, коли з'являються перші листки [42, 43, 89, 224, 335] у березні-травні, плодоносить у серпні-жовтні [49, 180, 198, 204]. У цей період маточкові сережки стають сухими, мають світло-коричневий, а іноді й темно-жовтуватий колір, їхня довжина варіює в межах 27–40 мм, а товщина – 5–10 мм. Сережки швидко поширюються за допомогою вітру, розкидаючи сім'янки та трьохлопасті лусочки [224].

Запилення *V. pendula* є анемофільним (за допомогою вітру) [241, 496]. У період цвітіння існує інтенсивний максимум поширення пилку, він триває 2–3 дні, протягом цього часу відбувається 70–80% усього запилення. З однієї квітки утворюється приблизно 6 млн. пилкових зерен [3]. Тривалі холодні й вологі умови можуть зменшити загальну кількість пилку [473].

Плід – горішок зі світло-коричневим забарвленням [34, 56, 89, 180, 224], за іншими даними – крилатий горіх [184, 324, 339, 488], горіх (псевдомонокарпій) [212, 265, 319], або двокрила сім'янка [12, 42, 196, 349]. Однак, найчастіше використовують назву – горішок. Довжина плодів становить 3,5 мм, а їхня ширина – 2,5 мм, мають продовгувато-еліптичну форму темно-жовтого забарвлення і два крильця, які ширші за горішок у 2 рази та розташовані дещо вище його основи [34, 308]. Кількість плодів в одній маточковій сережці може варіювати в межах 400–700 шт. [34]. Маса 1000 шт. насінин за різними даними змінюється від 0,10 до 0,20 г [34, 224, 468, 480]. Приквіткові лусочки мають довжину 3,5–5,1 мм та ширину – 3,0–4,3 мм, відзначаються бурим кольором із зеленуватим відтінком, зверху вкриті короткими волосками; середня лопать лусочки коротка овально-трикутної форми; бічні лопаті дещо довші, округлі та трохи зігнуті вниз [224].

Насіння велике, розвивається на всю порожнину плоду; насінневий зачаток антропний, звисаючий; насіннева шкірка дуже тонка, напівпрозора; зародок займає всю порожнину насіння, має овальні сім'ядолі [115]. Насіння легке (в 1 кг міститься від 600 тис. до 1 млн. штук), за допомогою крилець розноситься вітром і, потрапляючи у вологий ґрунт, швидко проростає [31, 204]. Крильця насіння можуть виконувати певну роль у проростанні насіння: при висиханні поверхні шару вони «притискають» насіння до поверхні ґрунту і утримують вологу під ним [433]. Схожість свою зберігає не більше року [268]. А. Гранстром та Ц. Фріес [379] у своїх дослідженнях визначили, що лише 6% насіння зберігає життєздатність через 1 рік, 3% – після 2-х років і лише 1% – через три роки. Сходи несуть дві дрібні, оголені, знизу червонуваті сім'ядолі, а пізніше – зубчасті листочки, покриті клейкими війками. У перший рік рослина виростає всього на декілька сантиметрів, але вже в 2 роки досягає висоти 25–40 см, а в 3 – від 60 до 100 см і більше [42, 84]. Плодоносить щорічно з 8–15 років, а у насадженнях – з 20–30 років [15,

84, 268, 278]. За даними Б. І. Коснікова [170], рясні врожаї у *B. pendula* можна очікувати раз в 5–6 років, хороші – через 3–4 р., середні – після 2–3 р.

У *B. pendula* відомо 19 форм, з яких в Україні найчастіше зустрічаються чотири:

- f. 'Dalecarlica' – високе ошатне дерево схоже на вид, проте має глибоко розрізані листки завдовжки від 4 до 8 см, частинки загострені, середня ланцетна, черешок листка варіює від 2,5 до 4 см завдовжки, листки і верхні пагони повислі. Виявлена у Швеції у 1767 р., спочатку у Лілла Орнеса в Далекарлії, а пізніше була знайдена і у лісових насадженнях.

- f. 'Purpurea' – дерево подібне на видовий тип, однак має темно-червоні листки, восени більше бронзово-зелені.

- f. 'Tristis' – високе дерево з рівним стовбуром і тонкими гілками повислого типу, крона правильної округлої форми, листки як у видового типу. В Україні трапляється в усіх типах насаджень. Відома з 1904 р.

- f. 'Youngii' – невисоке дерево, скелетні гілки горизонтально направлені та відігнуті назад, утворюють неправильну крону з тонких повислих гілок [89, 224, 225].

У листопаді 1995 року в регіоні Центрального Полісся виявлено природне зростання популяції – *B. pendula (verrucosa) var. ucrainica* Litvak, яка продукує коштовну візерункову завилькувату деревину [187].

B. pendula вважається однією із найбільш світлолюбних порід [15, 34]. Березові деревостани швидко зріджуються, тому під пологом березняків відновлюються інші деревні породи і розвивається рясний трав'яний покрив [268]. *B. pendula* здатна витримувати вплив інфрачервоного випромінювання високої інтенсивності [384]. Зимостійка, добре переносить ранньовесняні та ранньоосінні заморозки [84, 204]. Мезофіт, здатна переносити посушливі періоди, витримує надмірну вологу [278, 459]. Деякі автори зазначають, що з поширенням на південь стійкість на перезволожених ділянках підвищуються [8]. Г. Доппельмайр [97] відносив *B. pendula* до типічних мезофітів, що здатні до ксерофільного пристосування. Добре зростає і зберігається на багатих

мінеральними речовинами ґрунтах [278]. Також може рости на дрібному торфі, гравії [433], кам'янистих [84], піщаних ґрунтах, суглинках та на чорноземі [31, 268]. Уникає ґрунти багаті вапняком [31]. Соле- та газостійка [406].

B. pendula є хорошим мікоризоутворювачем, що збагачує ґрунти та покращує їх властивості. Тому вона може конкурувати з іншими породами та підвищувати продуктивність деревостану [115, 300]. А. І. Золотухін зазначав, що *B. pendula* має високу потенційну алелопатичну активність [133].

B. pendula вважається ґрунтупокращуючою породою. Активний піонер лісу на вирубках, пустищах та згарищах [45, 56, 84, 89, 115, 163, 204, 244, 268, 300, 306, 312, 332, 349, 461]. Здатна швидко колонізувати незаселені території, особливо в багатьох сферах людської діяльності, де вона не бажана. Тому в деяких країнах, таких як Ірландія, вважається бур'яном [433].

Поширення *B. pendula* охоплює майже всю Європу від Середземного моря на півдні і майже до 70° широти на півночі. Вид є найбільш розповсюдженим у Північній Європі, де найчастіше зустрічається в змішаних лісах, а також може бути знайдений у досить великих чистих місцях. У південних і західних частинах ареалу розподіл є більш неоднорідний, на півдні *B. pendula* наявна переважно на великих висотах. Вид відсутній в Ісландії та більшій частині Іберійського півострова і Греції [56, 262, 265, 312, 345, 349, 433, 473, 492].

За рахунок невибагливості до умов зростання *B. pendula* добре зарекомендувала себе в польових захисних лісових смугах лісостепу та степу [34, 308], де в жорстких умовах існує необхідність підтримання «ажурності», оскільки в чистих смугах вітер змінює умови типічно лісового середовища під пологом насадження і посилює дефіцит вологи [227, 289]. Вона успішно переносить суворі зими степів Північного Заволжя, Західного Сибіру, Алтайського краю, Північного Казахстану, де морози сягають -40 °С та нижче [296]. Як зазначала М. Є. Єфімова [113], у лусочках бруньок берези

утворюються залозки, що рясно виділяють смолисту речовину, яка захищає зародок від холоду.

Завдяки естетичним та санітарно-гігієнічним якостям [289], *B. pendula* успішно використовується в зеленому будівництві для створення групових і алейних насаджень та як солітер у парках і садах [45]. Вид декоративний своїм витонченим листям, прозорою кроною та білою корою [89, 115, 157, 225]. У групових насадженнях значну роль має щільність насаджень. Недостня відстань між деревами, які знаходяться всередині масиву, погіршує їхній життєвий стан [289, 424, 469].

У змішаних посадках *B. pendula* добре себе почуває разом із хвойними видами [399, 449, 473]. Домішка *B. pendula* до соснових культур збагачує підстилку елементами живлення, прискорює процес розкладання, що сприяє інтенсифікації кругообігу біогенних елементів [258]. Іноді, зростаючи з листяними видами, домінує, пригнічуючи їхній ріст та розвиток [476], тому деякі автори рекомендують саджати *B. pendula* з тіньовитривалими породами, які формують другий ярус та попереджують задерніння ґрунту, підвищують стійкість та ріст березових насаджень [276].

1.2. Особливості зростання *Betula pendula* в урботехногенному середовищі

Урбанізація і внесені нею в навколишнє середовище зміни становлять предмет досліджень багатьох наук, зокрема й екології. Глобальні масштаби прискорення процесу урбанізації, що охопила країни з різним суспільним ладом і рівнем економічного розвитку, є однією з важливих особливостей нашої епохи [189]. Мікrokлімат міста характеризується своїми особливостями, на його формування, крім природних, впливають умови, створювані міською забудовою, а також функціонуванням автотранспорту, теплоелектростанцій, промислових підприємств, тобто міста представляють концентровані центри виробництва, споживання та видалення відходів, а

також цілого ряду глобальних екологічних проблем [26, 47, 465, 481, 481, 482].

Суттєва роль у покращенні стану урботехногенного середовища належить деревним рослинам, які виконують кліматотвірну, рекреаційну, санітарно-гігієнічну функції. У великих індустріально розвинених містах деревна рослинність – доповнення до технологічних засобів боротьби із забрудненням повітря [141]. Проте, посилення антропогенного впливу суттєво відображається на розвитку і функціональній активності рослин та викликає швидку деградацію фітоценозів, особливо тих, що зростають у зелених зонах урбанізованого середовища [177, 178, 274, 334, 337, 356, 365, 403, 475], тому за відповідними реакціями кількісних змін різних параметрів можна визначити інтенсивність і значення певних чинників, а також про ступінь реагування рослинного організму на їхній вплив [5, 419]. Досить чітко це спостерігається у *B. pendula*, яка чутливо реагує на погіршення умов середовища, тому її часто використовують в якості біоіндикатора стану довкілля [13, 84, 149, 192, 371, 419].

За даними багатьох вчених як зарубіжних, так і вітчизняних, антропогенне забруднення призводить до варіювання багатьох показників у *B. pendula* на різних рівнях організації: від клітинного до популяційно-видового. Так, наприклад, у ході оцінки життєвого стану *B. pendula* у місті Салават було визначено, що цей показник змінювався від 72% до 96%: у зонах середнього і слабого рівня забруднення дерева мали найвищі значення (82–96%) з переважанням кількості здорових дерев у структурі насадження, а у межах високого – найменші, тому вони віднесені до категорії «ослаблені» (72–76,6%) [13].

О. А. Бойко [37] визначив, що з підвищенням рівня забруднення відбувається зниження таксаційних показників у *B. pendula*: висота дерев поблизу промислових підприємств і в селітебній зоні в середньому була менше на 41,2% і 38,6%, а діаметр стовбура – на 20% і 22,9% відповідно, ніж у контрольному насадженні. У дослідженнях К. Є. Зав'ялова [122] відмічено,

що при високому рівні забруднення сполуками магнію середнє значення діаметра стовбура *B. pendula* може знижуватися у 2,5 раза відносно контролю, висота дерев – у 3,2 раза, а в зоні з середнім рівнем забруднення – у 2,2 та 1,7 раза відповідно. Навіть у зонах з низьким вмістом сполук магнію біометричні показники дерев зменшувались: діаметр стовбура – на 10%, а висота – на 6%. Проведені дослідження у м. Іжевськ показали, що у насаджень *B. pendula*, які зазнають шкідливого впливу вихлопних газів автомобільного транспорту й викидів промислових підприємств, спостерігається значно менший приріст стовбура за об'ємом, ніж у дерев з умовно чистих зон [53]. А Н. Л. Блюсюк [35] зазначив, що з погіршенням умов середовища діаметр крони *B. pendula* зменшувався до 4 м, розлогість крони – від 0,45 до 0,41, проте збільшувалися показники сплюсненості крони.

В умовах урботехногенного середовища відбуваються зміни у однорічних пагонів *B. pendula*. У 2016 році Т. Юсипіва [313] визначила, що під впливом шкідливих викидів промислових підприємств та вихлопів автотранспорту зменшується товщина первинної кори стебла однорічного пагона на 18,2% та всіх його структурних компонентів: корку – на 18,8%, коленхіми – на 14,3%, корової коленхіми – на 37,5%; практично всіх елементів флоєми: ширини твердого лубу – на 26,7%, ширини вторинної кори – на 19,4%; а також деревини, серцевини: зниження радіуса ксилемної частини стебла – на 33,7%, великого діаметра – на 35,7%, а малого – на 43%. Усі зміни різних тканин стебла однорічного пагона *B. pendula* відбувалися внаслідок впливу промислових емісій CO, NO_x, SO₂ і сполук важких металів, результатом чого є зменшення діаметра стебла.

Т. І. Юсипіва та В. С. Заморена [315] встановили, що річний приріст пагона у *B. pendula* біля ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» був менше на 54,7%, ніж у рослин з ботанічного саду Дніпропетровського національного університету (контроль). Відповідні зміни спричинені внаслідок укорочення довжини міжвузлів на 37,2% і зменшення їх кількості за довжиною пагона – на 37,0%. У забруднених

районах Вроцлава (Польща) А. Самеска-Цімерман та інші [468] виявили, що вегетативні короткі пагони *V. pendula* були значно довшими, ніж у деревних особин, що знаходяться на чистій території. Такі результати досліджень вони пов'язують із забрудненням середовища, посухою та фотохімічною напругою. Збільшення довжини коротких пагонів запобігають регулярному тривалому їх розвитку і викликають прозорість крони дерева, а отже, і зменшення довголіття. Подібну реакцію було відмічено й внаслідок впливу хлор-лужною промисловістю на Бжег-Дольні (Польща), що також спричинило подовження вегетативних коротких пагонів. Зі зменшенням відстані насаджень до хлор-лужного заводу цей показник значно підвищувався [340]. На цинково-свинцевому відвалі у місті Катовіце (Південна Польща) І. Франіел та А. Бабцинською [371] у 2009 році встановлено, що у забрудненій зоні довжина коротких вегетативних пагонів *V. pendula* (1,7 см) на відвалі була достовірно вище ($p < 0,05$), ніж на чистій території (с. Смолен, 76 км від міста Катовіце) – 0,6 см, що підтверджує попередні результати досліджень.

Довготривалий вплив токсичних речовин, які надходять у повітря разом з вихлопами автотранспортних засобів та викидами промислових підприємств, призводять до порушення феноритмотипів та фенофаз у *V. pendula*, що супроводжується зміною терміну початку зимового спокою та виходу з нього [108, 117, 174, 228, 283]. Так, Т. Е. Кукліна [174] дослідила, що в урботехногенних умовах раніше всіх починає вегетувати й квітнути *V. pendula* в центрі міста, потім на околиці, пізніше всіх – у лісі. Міські насадження цього виду значно пізніше приміських починають і закінчують підготовку до зимових умов при близьких значеннях загальної тривалості даного періоду. Н. В. Турмухаметова [283] відзначила, що в міському середовищі весняні фенофази та цвітіння у *V. pendula* починаються раніше на 2–7 днів порівняно з лісопарком. Причинами зсуву феноритмів рослин *V. pendula*, як пояснюють автори, є більш теплий мікроклімат у межах міста, додаткове освітлення, які подовжують час вегетації рослин, порушення

фізіолого-біохімічних перетворень у період спокою, що викликає скорочення його глибини і термінів вегетації та сприяє прискоренню процесів старіння рослин [53, 174].

В урботехногенних умовах середовища спостерігаються не тільки зміни надземної фітомаси рослин, а й підземної [74, 75]. Відповідно до результатів дослідження Р. Х. Гініятулліна [74] відмічено, що характер розподілу коренів за профілем ґрунту залежить, у першу чергу, від ступеня забруднення. Вивчення особливостей розподілу кореневих систем *V. pendula* в умовах поліметалічного забруднення Стерлітамакського промислового центру (СПЦ) показало зниження коренасиченості ґрунту (1412 г/м^2) порівняно з контрольними умовами (1746 г/м^2), а також зменшення в 1,7 раза частки поглинаючих та напівскелетних коренів: у несприятливих умовах у цій фракції було зосереджено в середньому 12,10% та 18,30% від усієї маси кореневої системи, тоді як у контролі – 21,66% та 23,51% відповідно. В умовах забруднення СПЦ переважали скелетні корені, частка яких становила 69,60%, а в зоні умовного контролю – 54,83%.

Особливої уваги потребують дослідження впливу забруднення на морфологічну будову листка, як одного із найбільш пластичних органів рослинного організму. Адже він один із перших потерпає від впливу шкідливих викидів, оскільки виконує найважливіші функції – фотосинтез, транспірацію й газообмін, а також виконує очисну роль в умовах високого рівня антропогенного забруднення. Так, Г. Р. Хузіна [298] в містах Удмуртії досліджувала морфологічну будову листка *V. pendula* та виявила неоднозначні зміни у формуванні листкової пластинки залежно від інтенсивності техногенного впливу. Вона зазначила, що у придорожніх насадженнях спостерігалися вужчі листкові пластинки, ніж у дерев, що знаходяться в парках. В урбанізованих умовах м. Гомеля (Білорусь) О. Г. Тюлькова та Л. П. Авдашкова [285] виявили, що розміри листка *V. pendula* у насаджень, які розташовані біля промислових підприємств, були меншими в середньому в 1,1–1,6 раза відносно контрольного (паркова зона).

А проведені дослідження у Фінляндії показали, що короткочасний і довгостроковий вплив підвищеними концентраціями озону на саджанці *V. pendula* призвів до зменшення розмірів їхньої листкової пластинки в першому експерименті – у 1,5–1,7 раза [435]. З наближенням до джерела забруднення (Битківське нафтове родовище) насаджень *V. pendula* Я. О. Адаменко, Н. І. Глібовицька [2] виявили прямопропорційне зменшення морфологічних показників листкової пластинки: довжини – від 4,65 до 4,01 см, ширини – від 3,78 до 2,96 см, площі – від 11,78 до 7,95 см², які достовірно зменшувалися відносно контрольного, як на відстані 0,5 км, так і 1 м до родовища. Подібні результати досліджень були отримані й О. А. Бойко [37] при вивченні морфометричних показників асиміляційного апарату *V. pendula* в умовах змішаного типу забруднення Уфимського промислового центру. Він зафіксував, що максимальної величини листки досягають у зоні слабого рівня забруднення. У рослин, що знаходяться під впливом великого техногенного навантаження відбувається зменшення ширини листкової пластинки до 16%; її площі – до 17%; довжини листкового черешка – до 19%. Чіткої залежності між ступенем техногенного впливу і довжиною листка *V. pendula* автором виявлено не було. Дослідження Е. Ю. Колмогорової [159] та М. С. Гюнхардт-Герг зі співавт. [355] показали суттєве зменшення площі листкових пластинок *V. pendula* внаслідок шкідливих викидів з підприємств у першому випадку, а також під впливом високої концентрації озону в повітрі у клоні *V. pendula* – у другому. Зменшення морфометричних параметрів листків у відповідь на різні типи забруднення розглядається як частина широкого комплексу реакцій, які спрямовані на формування рис ксероморфної будови [141].

Важливим показником при дослідженні морфологічних параметрів листка є флуктуюча асиметрія, оскільки вона виявляє прямі взаємодії між модульними частинами організмів [374, 387, 411]. Флуктуюча асиметрія (ФА) морфологічних структур – випадкове відхилення показників двосторонніх ознак від ідеальної симетрії [85]. За показником рівня ФА

можна зафіксувати навіть невелику різницю між середніми значеннями морфологічних параметрів лівого і правого боків асиміляційного апарату на ранніх стадіях патологічного стану дерева, тоді як за іншими критеріями у нього ще відсутні явні ознаки пригнічення [59]. В останні роки дослідження в цьому напрямленні з використанням *B. pendula* набули досить широкого масштабу. Більшість науковців ФА вважають чутливим параметром до антропогенного забруднення як стресового чинника, який можна використовувати для оцінки екологічного стану навколишнього середовища [23, 32, 37, 85, 110, 111, 129, 161, 193, 221, 259, 261, 284, 293]. Проте, у літературі зустрічаються й дані, що рівень стресу не впливає на рівень ФА [338, 368]. Так, С. Блек-Самуельссон та С. Андерссон [338] використовуючи різницю в розмірах між правим і лівим боками кожного листка як міру нестабільності розвитку, не виявили впливу дефіциту поживних речовин на асиметрію листків *B. pendula*, незважаючи на великі розміри вибірки (370–380 рослин на вид). Основною проблемою неоднозначних результатів досліджень Дж. Х. Грахам та ін. [383] вважають похибку вимірювання. Науковці відзначають, що статистичну обробку ФА потрібно здійснювати тільки тоді, коли похибка досліджень є невеликою, якщо ж цей показник має великі значення, тоді дослідження проводити недоцільно. Часто дослідники плутають середні квадрати і компоненти дисперсії. Тільки тому, що похибка вимірювання дорівнює або перевищує флуктуючу асиметрію, не означає, що флуктуюча асиметрія є незначною. Нарешті, завжди краще виразити похибку вимірювання як відсоток від загальної фенотипічної зміни або дисперсії асиметрії. Інша проблема – недостатня кількість зразків. Тому для отримання достовірних даних потрібно відбирати великі розміри зразків повторюваних частин на модульних організмах. Необхідно також усунути або зменшити похибку вимірювання шляхом реплікації вимірювань. У багатьох дослідженнях обирають лише одну або дві ознаки, використовують неадекватні розміри зразків, застосовують масштабування некритично і нехтують повторюваними вимірами та розподілами змішаних помилок.

Флуктуюча асиметрія є корисним показником стресу не тому, що вона більш чутлива до стресу, ніж фенотипічна модифікація, а тому, що вона виявляє стабільність перед стресом. У цьому відношенні це єдиний індикатор, що вирішує питання гомеостазу розвитку. Отже, якщо флуктуюча асиметрія залишається незмінною перед стресором, що впливає на ріст і розмноження, це може просто означати, що гомеостаз розвитку не був порушений [383].

Згідно з літературними даними [277], негативний вплив факторів навколишнього середовища спочатку позначається на ультраструктурних елементах будови рослини, а вже потім розвиваються помітні ознаки пошкодження організму, тому вивчення анатомічних змін допомагає оцінити характер, а також ступінь впливу різних несприятливих факторів. Н. Н. Єгорова та А. Т. Нафікова [104], досліджуючи анатомічну будову листка *V. pendula* поблизу міста Сибай (на відвалах Сибайського філії Учалинського гірничо-збагачувального комбінату – СФ УГЗК), неподалік від міста Учали (на відвалах Учалинського гірничо-збагачувального комбінату – УГЗК), біля м. Кумертау (на відвалах Кумертауського буровугільного розрізу – КБР), у м. Стерлітамак (промислова зона – СПЦ) та на Уфимському плато (багаторічна ґрунтова мерзлота – МПМ) виявили загальне збільшення товщини листка за рахунок мезофілу. Подібні результати були встановлені й у Білорусі. А. М. Ніколайчук [215] виявила збільшення товщини листкової пластинки *V. pendula* з наростанням забруднення антропогенного характеру від 133,81 мкм (у контролі) до 190,04 мкм (біля Червоносільського заводу будматеріалів), яке відбувається переважно за рахунок потовщення верхнього і нижнього епідермісу: з 14,90 мкм та 9,84 мкм (у контрольному насадженні) до 20,93 та 13,04 мкм (біля того ж заводу з південно-західної сторони) відповідно. При цьому, змінювався й коефіцієнт паренхімності (відношення висоти стовпчастої паренхіми до губчастої) – від 0,6 до 0,9. Автор зазначає, що структурною особливістю *V. pendula* є переважання губчастої тканини в мезофілі, розміри якого варіювали залежно від місцезростання дерев (довжина – 17,18–21,66 мкм, ширина – 10,46–

13,49 мкм): у контролі клітини мали найменші розміри, максимальні ж показники були зафіксовані у дерев, що ростуть на невеликій відстані від цементних заводів. Потовщення асиміляційного апарату *B. pendula* відмітили й А. Вуф зі співавт. [336], які досліджували вплив ультрафіолетового випромінювання на анатомію листка. Вони визначили, що при низькому рівні випромінювання товщина листкової пластинки становила 137,9 мкм, при високому – 151,4 мкм, а при комбінованому впливі низького та високого рівня ультрафіолетового випромінювання її товщина дорівнювала 150,3 мкм. Потовщення листкової пластинки та її окремих тканин *B. pendula* науковці розглядають як адаптивну реакцію на стресові умови [37, 103, 295, 430]. Проте, у багатьох дослідженнях виявлено зворотну тенденцію, коли з підвищенням рівня забруднення товщина листка та його тканин зменшуються [285, 478]. Такі зміни анатомічної структури листкової пластинки викликані пригніченням фази розтягування клітин через нестачу асимілятив і порушенням гормональної регуляції росту за дії певних стресових факторів [214].

В екологічно неблагополучному середовищі у *B. pendula* спостерігаються структурно-функціональні зміни продихового апарату, що супроводжуються збільшенням кількості продихів і зменшенням їхніх розмірів [37, 264, 382]. Це пов'язано з тим, що в умовах високого рівня забруднення у листків відбувається порушення газообміну з навколишнім середовищем. Мінливість показників різних параметрів у продиховому апараті відображає інтенсивність газообміну в умовах техногенезу. Так, Р. А. Сейдафаров, Р. Р. Сафіуллін [264] встановили, що у зоні високого рівня забруднення ВАТ АНК «Башнафта» філії «Башнафта-Ішимбай» спостерігалось збільшення продихового індексу *B. pendula* з 185 до 375 шт./см² порівняно з контролем. За даними С. Паакконен зі співавт. [382] встановлено збільшення щільності продихів від 3% до 25% на листковій пластинці *B. pendula* під впливом високої концентрації озону у саджанців п'яти березових клонів. У рослин, які не піддавались дії озону щільність

продихів становила 111,0–113,8 м², а під його впливом змінювалася у межах 127,4–136 мм². Зміну потужності розвитку різних тканин листка у рослин, які знаходяться в екстремальних умовах, науковці пояснюють як порушення процесів росту і розвитку листя. У цілому, це виступає як прояв адаптивної реакції асиміляційного структурно-функціонального комплексу, що забезпечує успішне зростання *B. pendula* в екстремальних умовах [103, 309].

Окремо слід відзначити дослідження епікутикулярного воску у листках *B. pendula*, що є надійним показником у біоіндикації стану довкілля. Так, наприклад, Е. Беднарова та Дж. Кусера [331] з 1997 по 2009 р. досліджували вплив окислів сірки на епікутикулярний віск у *B. pendula*, яка росте в Рудних горах, та виявили зменшення його кількості зі збільшенням концентрації забруднюючих речовин у повітрі. На початку дослідження висока концентрація окислів сірки виступала провідним антропогенним фактором навіть у літній період. Епікутикулярний віск, який виконує захисну функцію на асиміляційному апараті, потовщувався відповідно до збільшення висоти зростання насаджень. Починаючи з 2001 р. виміряні концентрації діоксиду сірки знижувалися до мінімальних значень, однак вищезгадана концентрація наземного озону з'явилася як новий чинник, що викликає пошкодження асиміляційного апарату в деревних видів. Високі концентрації наземного озону пошкодили асиміляційний апарат та призвели до руйнування епікутикулярного воску. Вищі граничні концентрації наземного озону в період з квітня по вересень негативно вплинули на асиміляційний апарат в усіх деревостанах *B. pendula*, що знаходяться на висотах понад 800 метрів. Дослідження епікутикулярного воску було проведено й іншими вченими, що виявили негативний вплив техногенного забруднення на цей показник [295].

Для оцінки успішного існування рослин в урботехногенних умовах важливим є визначення вмісту фотосинтетичних пігментів рослин, оскільки саме від їхньої кількості у асиміляційному апараті деревних особин залежить інтенсивність проходження процесу фотосинтезу, необхідного для росту й розвитку рослинного організму в навколишньому середовищі. Неодноразово

відмічено, що вміст пігментів у листках є чутливим параметром до впливу негативних зовнішніх факторів, особливо тих, які мають антропогенне походження. Досить виразно це відображається у рослин-біоіндикаторів, до яких відноситься й *V. pendula* [38, 109, 246].

У світовій літературі зустрічаються досить неоднозначні дані щодо негативного впливу забруднюючих речовин на вміст хлорофілів у листовій пластинці: одні відзначають збільшення кількості зелених пігментів у листках з підвищенням рівня техногенного навантаження [288, 302, 440], а інші, навпаки, вказують на їх зменшення [60, 69, 106, 195, 299, 310, 314, 444, 446]. Так, наприклад, С. Т. Петрова [440] досліджувала вміст пігментів у листках *V. pendula* в м. Пловдив (Болгарія) та виявила, що вміст хлорофілу *a* в межах восьми ділянок варіював від 1,32 до 1,89 мг/г⁻¹, тоді як кількість хлорофілу *b* змінювалася від 0,54 до 1,52 мг/г⁻¹. Співвідношення хлорофілів *a/b* варіювало від 1,41 до 2,44. Найвищі значення зелених пігментів, при цьому, спостерігалися в умовах середнього рівня урбанізації та тиску дорожнього руху, ймовірно, внаслідок посиленого захисту від стресу. Дослідження Ю. Г. Масікевича [195] показали, що рослини *V. pendula* з придорожніх насаджень м. Чернівці характеризуються меншим вмістом зелених пігментів хлорофілу *a* – на 15,8%, а хлорофілу *b* – на 33,1% у листках, ніж у контрольному насадженні. Зазначена тенденція зміни кількості хлорофілів наглядно ілюструється зростанням величини показника співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* з 3,3 до 4,2 одиниць. І. Франіел та А. Бабцинська [371] у 2009 році встановили істотне переважання індексу хлорофілу на дуже забрудненій ділянці (цинково-свинцевому відвалі в місті Катовіце (верхній Сілезький край, Південна Польща)) відносно показників, отриманих у рослин з незабрудненої зони (с. Смолен, 76 км від міста Катовіце). Зменшення загальних концентрацій хлорофілу пропорційне збільшенню рівня забруднення, яке було продемонстровано для всіх дерев *V. pendula* на цинково-свинцевому відвалі порівняно з незабрудненим місцем. За даними А. Рея і П. Дж. Джарвіса [463] загальна кількість

хлорофілів у листках, які піддавалися впливу CO₂ недостовірно знижувалася – на 12%, ніж у контролі.

Різноманітні зміни основних компонентів фотосинтетичного апарату *B. pendula* вчені пояснюють тим, що вміст пігментів залежить від типу забруднення, а також взаємодії різних забруднювачів з абіотичними факторами (висока температура, посуха, інтенсивна інсоляція і т. д.) [347]. О. О. Єрофєєва зі співавт. [111] вважають, що відмінності в реакції пігментів на стресові чинники пов'язані зі зміною гомеостазу *B. pendula* і можуть мати двофазний характер: на першій стадії відбувається зниження кількості пігментів, а на другій – «парадоксальній», навпаки, спостерігається їх підвищення. Ц. Ц. Ху і ін. [62] відзначають, що подібна залежність може мати й багатофазний характер, що пов'язана з неоднозначним впливом різних екологічних факторів.

Водоутримуюча здатність є важливим показником водообміну та стійкості до несприятливих умов середовища, який пояснюють як здатність рослин протидіяти зневодненню [64]. У стійких видів цей параметр є високим, у нестійких – призводить до швидкої втрати води у клітинах [211]. Дослідження науковців І. Л. Бухаріної та А. О. Двоєглазової [45] показали, що вищі показники рівня водоутримуючої здатності *B. pendula* наявні у придорожніх насадженнях (втрата води складала 5,00%) порівняно з зоною умовного контролю (9,70%). Втрата води в насадженнях, що знаходяться поблизу промислових підприємств та біля автомагістралей, зменшилась на 3,56% та 4,73% відповідно, це свідчить про підвищення водоутримуючої здатності листків у стресових умовах та є адаптивною реакцією на зовнішні умови.

Значний вплив спричиняють токсичні речовини, що знаходяться у повітрі, які призводять до збільшення активності пероксидази, стимулювання окислювальних процесів [395] та суттєвого зростання ПОЛ [134] в техногенних умовах та спричиняють зміну у функціонуванні життєвих процесів *B. pendula* на фізіологічному рівні.

В умовах урбаносередовища у *V. pendula* спостерігається підвищення зольності листків, що впливає на акумуляційну здатність рослин [146]. Так, І. Л. Бухаріна та А. О. Двоєглазова [45] зазначили, що в листках усіх насаджень до кінця вегетаційного сезону кількість зольних елементів може збільшитися на 1,13–3,43%.

В останні роки особливо актуальними вважаються дослідження накопичення важких металів в асиміляційних органах рослин [371, 390, 394, 407, 459, 479]. Антропогенне забруднення призводить до нестачі або надлишку певних хімічних елементів, їхнього співвідношення в різних частинах рослин [99], що позначається на функціональній активності дерев. За даними І. Л. Бухаріної та А. О. Двоєглазової [45] виявлено, що у *V. pendula* на початку і при повному розгортанні листків відбувалося збільшення вмісту азоту в пагонах у насадженнях поблизу промзон порівняно з зонами умовного контролю, а в період закінчення листопаду відмінностей за досліджуваним показником не спостерігалось. У листках біля промислових підприємств і на магістральних ділянках відмічався вищий показник вмісту азоту, ніж у контролі. Вміст фосфору в листках *V. pendula* був найвищим біля промислових виробництв, а найменший – біля автомагістралей. У контролі спостерігались проміжні показники. Однак, у пагонах вміст фосфору в різних зонах достовірно не відрізнявся протягом усього вегетаційного сезону. Вміст калію у листках *V. pendula* також не мав достовірних відмінностей у різних типах насаджень. Найнижчі показники основних елементів зафіксовані у пагонах *V. pendula*, однак достовірно не відрізнялися. У м. Больцано (Італія) в листках *V. pendula* з підвищенням рівня забруднення вміст Cu, Pb і Zn збільшувався практично у 2 рази: у придорожніх насаджень концентрація Mn була вище на 38%, Cu – на 163,2%, Zn – на 11,1%, а Pb, навпаки, нижче на 16%, ніж у контрольному насадженні [390]. Такі ж дослідження проводив й Дж. Супука зі співавт. [479], які отримали подібні результати. Встановлені дані свідчать про те, що накопичення важких металів у різних органах

V. pendula призводять зачасту до пригнічення їхньої функціональної активності, росту і розвитку.

Одним із найважливіших критеріїв життєздатності рослин є їхня здатність до розмноження. Успішність репродукції залежить від стану генеративної системи рослиного організму, яка є більш чутливою до впливу антропогенного забруднення, ніж вегетативні органи. Вже неодноразово підтверджувалось різними дослідженнями, що токсичні речовини різного походження негативно впливають на генеративну сферу рослин та спричиняють зниження їхньої продуктивності, що супроводжується мінливістю морфо-фізіологічних параметрів чоловічого гаметофіту, а в подальшому й зменшенням інтенсивності плодоношення та зниженням якості насіння [29, 105, 149, 206, 217, 218, 499]. Так, у своїх дослідженнях Т. В. Шевцова зі співавт. [206] виявила тенденцію до зменшення морфометричних параметрів пилку *V. pendula* з погіршенням стану навколишнього середовища. Досліджуючи пилки *V. pendula* у м. Каракол Б. К. Калдибаєв [149] виявив, що з наближенням до джерела забруднення *V. pendula* збільшується кількість аномального пилку: у зоні зелених насаджень центру міста Каракол зафіксовано 6,3% морфологічно змінених пилкових зерен, у районі ТЕС – 6,0%, біля міського автовокзалу м. Каракол – 4,5%, тоді як у контролі (Каракольський природний парк) цей показник становив 1,5%. Також ним було встановлено візуальний зв'язок між зоною розташування рослин та рівнем забруднення. Пряму залежність появи аномального пилку від інтенсивності техногенного впливу виявлено й І. С. Єрохіною та Н. А. Єлькіною [112]. У ході проведених досліджень у м. Петрозаводськ максимально високі показники морфологічно змінених пилкових зерен було встановлено поблизу машинобудівного заводу, котельні, автотраси та ін. – 50,5%, на території житлових районів міста значення цього параметру коливалися від до 4% до 20%, а у контрольних зразках досягав 5%. За даними О. В. Єрещенко [107], у *V. pendula* спостерігалася в середньому низька частка деформованого пилку (2,3%),

варіюючи від 0,91% до 4,31% в різних точках збору, у більшості випадків цей показник перевищував контрольні значення на 1,77%. У великих індустріально розвинених містах помітно погіршується якість пилку, що супроводжується збільшенням його стерильності. Дослідження П. Бессонової за співавт. [30] показали збільшення кількості безкрохмальних (стерильних) пилкових зерен у *V. pendula* від 2,6% (у контролі) до 35,1% (біля доріг з високою інтенсивністю руху автотранспорту). Б. В. Зюман та ін. [135] зазначили, що біля «Заводу залізобетонних виробів № 2» у м. Кременчук частка безкрохмального пилку у *V. pendula* була у 4 рази більшою, ніж у контрольному насадженні. Підвищення стерильності пилку у *V. pendula* виявила й М. М. Миленька [203], відсоток якого варіював від 4,9% на фоновій території до 19,6% – у зоні неорганізованих викидів Бурштинської теплоелектростанції (БуТЕС). Л. Дж. Куїніка зі співавт. [365] досліджувала газостійкість пилку, кожен зразок якого піддавався впливу різних атмосферних забруднювачів – CO, O₃ і SO₂ у двох різних концентраціях: перший рівень концентрації відповідав поточному атмосферному тимчасовому граничному значенню, прийнятого для охорони здоров'я людини; а другий – у 2 рази перевищував граничні показники. Життєздатність пилку *V. pendula* знижувалася під впливом високої концентрації SO₂. Важливим результатом цих досліджень є те, що навіть при низькому рівні забруднення, який нижче стандартного рівня безпеки для здоров'я людини, спостерігалось зменшення частки життєздатного пилку до 25% при максимальній концентрації газів, в той час як у контролі його було 39%. Дослідження проведені у Франції взагалі показали, що свіжозібрані зразки пилку повністю втратили свої біологічні особливості та функцію відтворення в промислових і придорожніх зонах [364]. В. А. Лях зі співавт. [61] вивчали вплив важких металів на життєздатність пилку, солі яких додавали у живильне середовище в концентрації 0,1; 1,0 і 10 мг/л. Про чутливість чоловічого гаметофіту до впливу важких металів судили за здатністю пилку проростати на штучному живильному середовищі в

присутності важких металів Pb, Cr Cu, Zn. У ході досліджень науковці виявили поступове уповільнення проростання пилкової трубки *V. pendula* зі збільшенням концентрації Cu і Zn в живильному середовищі порівняно з контролем, причому навіть мінімальна концентрація (0,1 мг/л) надавала інгібуючу дію. У варіантах із мінімальними концентраціями свинцю пилкова трубка проростала значно швидше. Підвищення концентрації Pb у середовищі до 10 мг/л істотно не впливало на довжину пилкових трубок у *V. pendula*.

Несприятливі умови середовища суттєво впливають на процес формування насіння та рівень його якості. Так, І. Франіел, А. Бабцинська [371] при пророщуванні насіння *V. pendula* виявили статистично значущу відмінність його схожості із забрудненої (цинково-свинцевий відвал в м. Катовіце (Південна Польща)) і незабрудненої зон (с. Смолен). Незважаючи на те, що енергія проростання в забрудненій зоні була вищою на 16,3%, рівень проростання все ж був значно меншим – на 39,9% порівняно з незабрудненою ділянкою. В. Н. Позолотіна [242] відмітила, що радіоопромінення перед посівом у дозах 100, 200, і 400 Гр викликає зниження схожості насіння *V. pendula* та підвищення діапазону мінливості цього параметру від 2,4% (у контролі) до 13,7% (при 400 Гр) та виживання сіянців від 3,7% до 12,8%. У дослідженнях І. В. Дашичевої й І. М. Глазуна [87] встановлено, що при хронічному опромінюванні іонізуючої радіації схожість насіння *V. pendula* покращувалася. Такі результати вони пов'язують з тим, що у рослин пройшов процес радіоадаптації і навіть відбувся прояв стимулюючого ефекту, у результаті якого відмічалось підвищення схожості насіння.

В екологічному моніторингу використовують цитогенетичні показники, які вважають надійними при дослідженні впливу чинників техногенного характеру, та є біомаркерами стану навколишнього середовища [14, 228]. Неодноразово доведено, що токсичні речовини здійснюють негативний вплив на функціонування генетичного апарату рослин, що

призводить до порушення процесів поділу клітин, змін мітотичної активності, появи патологій мітозу, збільшення їх спектру, мінливості площі ядерця та їх кількості у ядрі клітини тощо [68, 147, 152, 209, 401, 402]. За даними Л. С. Найдьонової, С. О. Єпринцева та В. М. Попова [209] виявлено, що найбільше патологій у мітозі спостерігалось в районах з найбільшим рівнем забруднення промисловими відходами і транспортом. Так, кількість порушень при поділі клітин у районі ВАТ «Рудгормаш» становила 2,3%, біля шинного заводу – 3,2%, а в зонах ВАТ «Воронежсинтезкаучук» ТЕС-1 АТ і «Воронеженерго» – 4,3% та 4,5% відповідно.

Таким чином, узагальнюючи результати досліджень різних науковців, можна стверджувати, що *B. pendula* один із найпоширеніших видів, який розповсюджений по всій Північній півкулі, завдяки високій екологічній пластичності може зростати в різних умовах середовища, тому часто використовується в озелененні міських територій. Високий рівень чутливості *B. pendula* до впливу забруднюючих речовин, які надходять у повітря разом із шкідливими викидами промислових підприємств та вихлопами автотранспорту в урботехногенних умовах дозволяє використовувати її в якості об'єкта визначення екологічного стану навколишнього середовища.

1.3. *Betula pendula* на техногенно порушених ландшафтах

Розвиток різних галузей промисловості у багатьох країнах світу призвів до руйнування значної частини природних ландшафтів [363]. Більше 40% рослинного покриву земної поверхні пошкоджено, а здатність рослин до природного відновлення – змінена, скорочена або повністю зруйнована через вирубку лісів, випасання худоби, розширення сільського господарства, нераціональний видобуток паливних порід, міське та промислове використання [257]. Площа землі, яка безпосередньо змінена внаслідок діяльності гірничодобувної промисловості, як і в минулі роки, є відносно низькою в плані глобальної деградації, однак може представляти значні обсяги в окремих країнах [352]. Враховуючи зростаючий рівень порушення

земель, як екологічні, так і економічні норми вимагають, щоб відновлення цих територій стало пріоритетною діяльністю для екологів, навіть якщо вони «приречені на тяжку боротьбу з такою проблемою» [350]. У регіонах із великим техногенним навантаженням основна увага зосереджена на саме відновлюваних техногенних ландшафтах, оскільки до них відносяться території, для яких необхідно здійснити нагальні заходи щодо повернення їх до початкового природного стану. До відновлюваних територій екомережі можна віднести деградовані, порушені, малопродуктивні території, а також землі, які постраждали від стихійних явищ та впливу певних негативних процесів [363].

У помірних кліматичних зонах Північної півкулі найбільш стійким способом відновлення продуктивності земель, пошкоджених гірничодобувною промисловістю, вважається лісове озеленення [327]. З цієї причини, наприклад, у Європі, Північній Америці, Південній Америці та Азії більша частина ландшафтів після гірничого видобутку відновлюється до лісів [261].

Організована рекультивация техногенно порушених ландшафтів у світі триває з кінця XIX – початку XX ст. Дослідження деградованих земель спочатку розпочалися в промислово розвинутих країнах, а в СРСР в області їх рекультивации розпочалися ще з другої половини 50-х років [450].

Серед великого видового складу дендрофлори важливе місце займає *B. pendula*, оскільки багатьма дослідниками доведено, що вона є найбільш пристосованою до специфічних умов техногенно порушених ландшафтів. Завдяки невибагливості до екологічних умов може рости на відвалах відсипних порід з різним типом субстратів як шляхом штучної посадки, так і природного її поселення [158].

Різні умови впливають на розвиток та характер формування березових деревостанів. Так, наприклад, при зростанні на відвалах Учалинського ГЗК та СФ УГЗК *B. pendula* разом з *Pinus sylvestris* L. поселяється на вільних

територіях та формує різновікові зарості. Кількість особин *B. pendula* може досягати 3000 шт./га [181].

На відпрацьованих відвалах Краківського содового заводу Солвей відомого під назвою «Білі моря» у Польщі виявлено лише 7 деревних видів, серед яких зустрічається й *B. pendula*. Вона займає третє місце після *Robinia pseudoacacia* L. (84%) та *Populus tremula* L. (10%) і складає 5% серед цих видів, однак, характеризується швидким зростанням та досягає середньої висоти та діаметра на висоті грудей – 12,6 м і 18,1 см відповідно [501].

На двох відвалах вугільних шахт «Клара» та «Бельшовіце», що розташовані в північній та центральній частинах м. Руда-Шльонська, на півдні Польщі, виявлено 128 видів спонтанно заселених судинних рослин. Серед них зростають переважно піонерні фотофільні види, які мають широку екологічну амплітуду, такими ж характеристиками володіє й *B. pendula*, що виявлена на цих двох відвалах [330].

У Чехії на техногенно порушених ландшафтах, утворених шляхом видобутку вугілля, К. Прач та П. Пісек [457] виявили природне поселення дерев та кущів. На 15 досліджених оселищах ними було зафіксовано 24 види, серед яких найчастіше зустрічалася *B. pendula* (на 9 з них) та мала достатньо високий відсоток покриття. Її дослідники вважають найуспішнішим видом у стихійній сукцесії, особливо на вологих ділянках.

На розрівнених відвалах сланцевих кар'єрів в Естонії з листяних порід добре росте *B. pendula*. У 2007 р. *B. pendula* на рекультивованих територіях становила 10%. У 37-річних культурах із *Pinus sylvestris* *B. pendula* перевищувала її по висоті до 6 м [485].

На старих шахтних відвалах у районі Любетова – Подліпа (Зелена долина, Словаччина) можна спостерігати природне поселення *Acetosella vulgaris* (W.D.J. Koch) Fourr., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Pinus sylvestris*, *Salix fragilis* L., *Juncus articulatus* L., зокрема й *B. pendula*. Характерними для локальних місцезростань хімічними

умовами є низький вміст основних поживних речовин та висока концентрація важких металів (Fe, Cu, As, Sb, Cd та ін.) [396].

B. pendula також може поселятися на пісковиках без явних пошкоджень та довго зберігати «здоровий» життєвий стан. На піщаних відвалах м. Березовський Свердловської області, субстрати яких є бідними на поживні елементи, після посадки 120 шт. *B. pendula* прижилося 68,3% з усього посадкового матеріалу [158].

І. В. Калашникова та С. В. Мігаліна [148] зазначають, що досить поширеною вона є і на зольних субстратах, які відзначаються дефіцитом природних ресурсів (насамперед, азоту). У *B. pendula* в таких умовах були зафіксовані певні видозміни її морфоструктури: високі значення відносної маси та площі листків, а також відносної маси гілок, при цьому лінійні розміри стовбура мали більш низькі величини. Також, адаптуючись до субстрату з недостатньою кількістю мінеральних речовин та складного водного режиму у *B. pendula* збільшується відсоток тонких коренів.

Дослідження насаджень *B. pendula* на відвалах Кумертауського буровугільного розрізу показали, що у специфічних умовах зростання рослини мають «здоровий» життєвий стан, високий радіальний приріст – 5,00 мм/рік та у них відсутня серцевинна гниль, що свідчить про високу адаптивність цього виду до специфічних умов зростання [252].

На крутих схилах відвалів УГЗК та БГЗК підріст *B. pendula* практично відсутній, унаслідок осипання породи та їх змиву, тоді як на відносно вирівняних територіях зустрічаються куртини з підросту та молодих рослин *B. pendula* різної щільності. Кількість особин порівняно з іншими видами становить найбільший відсоток – 82%. Біометричні параметри рослин відрізняються на різних частинах трансекти: висота варіює від 2,7 до 6,1 м, діаметр на висоті 1,3 м – 0,3–1,0 см, на рівні кореневої шийки – 2,8–9,6 см. *B. pendula* демонструє високий річний приріст висоти і діаметра стовбура (2,8 см) [207].

На півночі Донецької області, на правому березі р. Сіверський Донець розробляється відкритим способом велике родовище крейдянної руди, яку використовують для виробництва соди. На крейдяних відвалах рідко зустрічається *B. pendula*, на їх схилах вона практично відсутня. Проте, *B. pendula* зростає або в нижній частині біля основи відвалів, або на крейдянній «підшві» навколо відвалів [165].

Формування рослинності на породних відвалах шахт «Межирічанська» і «Візейська» Червоноградського гірничопромислового району та відвалах і схилах сірчаного кар'єру Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка», що знаходяться на Львівщині, залежить від мікроумов, фізико-хімічних властивостей субстрату гірських порід і рівня деструкції техногенного ландшафту. Відмічено, що на недіючих нерекультивованих відвалах видове різноманіття значно багатше, ніж на діючому та недіючому рекультивованих відвалах. Одними з найпоширеніших видів на недіючих відвалах шахти «Межирічанська» є *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Pinus sylvestris* та *Sorbus aucuparia* L., на недіючому нерекультивованому відвалі шахти «Візейська» зафіксовані *B. pendula*, *P. sylvestris*, *Robinia pseudoacacia* та *S. aucuparia*. Серед них домінантами є види, які є невибагливими до ґрунтових умов – це *B. pendula* та *P. sylvestris*. На відвалах та схилах Яворівського ДГХП «Сірка» поява рослинності відбувається двома шляхами: посадкою лісових культур, з яких найчастіше використовували *P. sylvestris*, *B. pendula*, *R. pseudoacacia*, *Quercus robur* L., *Q. borealis* Michx. та за рахунок самозаростання різними видами трав'яної та деревно-чагарникової рослинності [70].

На Житомирщині, де здійснюється видобуток облицювальних гранітів та габроїдів, спостерігається природне заростання відвалів Норинського гранітного кар'єру деревними рослинами. Субстрат складається з шару піску та кам'янисто-щебневих уламків. У списку виявлених дерев фігурує й *B. pendula* [267].

На залізорудних відвалах Криворіжжя *B. pendula* найчастіше заселяється в різних пониженнях, ямах, вибоїнах, між щілинами великоуламкової породи. Поселяється *B. pendula* і на схилах відвалів, а також на крупнокам'янистих ділянках, формуючи при цьому, первинні популяції [163].

За різними даними, на техногенно порушених територіях *B. pendula* характеризується екологічною пластичністю не тільки надземної, а й підземної частин [181]. Тому, вивчення *B. pendula* в умовах Криворіжжя набуває особливо важливого значення.

При написанні розділу 1 були використані наступні посилання:

227. Петрушкевич Ю. М. Використання *Betula pendula* в озелененні міст України. *Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки): матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2016», 23–24 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.). Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2016. С. 128–131.*
228. Петрушкевич Ю. Особливості адаптації *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Молодь і поступ біології: збірник тез XII міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (19–21 квітня 2016 р., м. Львів). Львів, 2016. С. 99–100.*

РОЗДІЛ 2

РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природно-кліматичні умови Криворіжжя

Географічне розташування

У період інтенсивного освоєння мінеральних багатств на території України був сформований великий промисловий вузол, спрямований на видобуток залізної руди, до якого входив і до нашого часу є діючим Криворізький залізорудний басейн. З 1897 року він став головною залізорудною базою України. Межі Криворізького регіону (Криворіжжя) включають західну частину Дніпропетровської області, невелику частину Херсонської та східну і південно-східну частину Кіровоградської областей. Центральне місце всередині регіону займає м. Кривий Ріг [41].

Кривий Ріг – найбільше місто в Європі, має протяжність 126 км із півночі на південь та ширину до 20 км, розташоване у степовій зоні України в центральній частині Українського кристалічного щита на межі злиття двох річок – Саксагань та Інгулець, які входять до басейну р. Дніпро [100].

Рельєф

Північна частина Криворіжжя належить до Придніпровської височини, а південна – до слабо похилої Причорноморської низовини, тому з півночі на південь зменшуються абсолютні висоти та їх розчленованість від 190–170 м до 85–90 м та з 2,3–3,5 км/км² до 0,3–0,5 км/км² відповідно. По всій території Криворіжжя наявний покрив вододілів та високих терас із лесовидних суглинків, які розмиті лише на крутих схилах річок, іноді – з балок. Рельєфоутворення відбувається в регіоні переважно за рахунок таких процесів як: площинний змив, яружна ерозія, струменно-борозмистий розмив. Вододіли часто приурочені до гранітоїдних куполів та антиклінальних валів складчастої основи (морфоструктури 3-го порядку).

У північній частині Криворіжжя гідрографічна сітка пов'язана з розломами докембрійських структур, що обумовлено невеликою потужністю

осадового чохла. Схили балок цієї частини регіону приурочені до активних розломів, балки мають V-подібний профіль із клиноподібною вершиною.

Балки центральної частини Криворіжжя мають плоске дно, іноді заболочене, а також слабо випуклі схили крутизною 6–12°. Вершини балок конусоподібні.

При переході до Причорноморської низовини в рельєфі виражене котловиноподібне розширення долини Інгульця. Південніше котловини на берегах Інгульця знаходиться густа сітка коротких ярів. На плоских слабо дренованих та недренованих поверхнях вододілів південної частини регіону сформувались западини [41].

У районах поширення метаморфічних порід спостерігається неоднорідний рельєф.

В. Л. Казаков [247] зазначає, що територія Криворіжжя відноситься до декількох морфоструктур. Уся територія Криворізького регіону відноситься до морфоструктури I-го порядку, тобто знаходиться в Східно-Європейській полігенній рівнині, утвореної Східно-Європейською платформою. Північна частина Криворіжжя належить до морфоструктури II-го та III порядків, а саме: Придніпровсько-Приазовської геоморфологічної області цокольних пластово-денудаційних височин (Азово-Придніпровська височина), Центральнопридніпровської денудаційної височини та Інгуло-Інгулецької лесової акумулятивної розчленованої рівнини (її зниженій частині). Південна частина Криворіжжя також входить до складу морфоструктур II-го і III-го порядків: Причорноморської геоморфологічної області пластово-акумулятивних та пластово-денудаційних рівнин та Північно-Причорноморської рівнини відповідно.

Морфоструктури II-го порядку сформовані з двох великих тектонічних утворень – Українським кристалічним щитом та Причорноморською западиною, а морфоструктури III і IV порядків – з тектонічних блоків, які є меншими за розмірами, площею від кількох десятків км до кількох тисяч десятків км [247].

В. Л. Казаков зі співавт. [247] поділяють рельєф Криворіжжя на декілька генетичних типів. Він утворений за участю екзогенних геоморфологічних процесів. Так, за морфоскульптурою основними типами рельєфу є:

1) Флювіальний – є домінуючим у регіоні; його форми представлені постійними водотоками (річковими долинами) та тимчасовими (балками, рівчачками, вимоїнами, борознами, улоговинами, ярами та лощинами).

2) Гравітаційний – сформований під дією сили тяжіння Землі у результаті зсувів, обвалів, осипання, відсідання гірських порід. На Криворіжжі має обмежене поширення.

3) Карстовий – утворений унаслідок розчинення карбонатних, сульфатних та соленосних порід водою.

4) Суфозійний – рельєф формується шляхом винесення дрібних частинок ґрунту без їх розчинення підземними водами у більш глибокі шари земної кори, у результаті чого утворюються поди та степові блюдця (округлі западини).

5) Еоловий – приурочений до піщаних відкладів I-ї надзаплавної тераси р. Інгулець, які були перевіяні вітром і зібрані в окремі горби (кучугури), слабо задерновані травою та чагарниками.

6) Антропогенний – сформований внаслідок гірничовидобувної діяльності з метою видобування корисних копалин. Представлений такими формами рельєфу – кар'єри, відвали й провали. Набув широкого розвитку з 1881 р. – з початком інтенсивного видобутку залізних руд.

Клімат

Криворіжжя розташоване в зоні помірних широт, клімат помірно континентальний. Континентальність підвищується з південного заходу на північний схід за рахунок збільшення амплітуди добових і річних температур повітря [294].

О. Г. Ісаченко [142] відзначав, що Криворіжжя розташоване в помірно-континентальній суббореальній семіаридній кліматичній підзоні. Б. П. Алісов

[10] за схемою кліматичного районування Криворізький регіон відносив до атлантико-континентальної європейської недостатньо вологої, теплої області помірної кліматичної зони.

Висота сонця над обрієм складає від $18,6^\circ$ до $65,4^\circ$ (22 грудня та 22 червня відповідно), світловий день триває від 8 годин 07 хвилин до 15 годин 53 хвилин, сяяння Сонця становить 2102 год./рік. Сумарна сонячна радіація за рік складає 108–110 ккал/см, радіаційний баланс – 47–48 ккал/см. На Криворіжжі середнє альbedo достатньо високе влітку та відносно низьке взимку – 30% та 35% відповідно.

Взимку атмосферний тиск становить 788,1 мм. рт. ст., а його середньорічний показник – 753,7 мм. рт. ст. У Криворізькому регіоні переважають північні та східні вітри, південні вітри спостерігаються рідко. Влітку найчастіше зустрічаються північні та північно-західні вітри, а в інші сезони – північно-східні, північні та східні. Штилі спостерігаються переважно влітку та на початку осені.

Середня швидкість вітру – 5,0 м/с, збільшується у холодний період та знижується в теплу пору року. Протягом доби найбільша швидкість вітру відмічається вдень унаслідок посилення вертикального турбулентного обміну. Великі вітри спостерігаються в кінці холодного періоду [41].

У січні середній показник температури повітря складає $-5,1^\circ\text{C}$, у липні – $+22,2^\circ\text{C}$, а за рік становить $+8,5^\circ\text{C}$. Безморозний період триває 175 днів. Криворіжжя – посушливий район України, кількість атмосферних опадів сягає 400–450 мм/рік (максимальні значення відмічаються на початку літа). Відносна вологість повітря становить 72% [102]. Найвища відносна вологість повітря спостерігається взимку – 86–88%, а найменша – в кінці літнього сезону – 58%. Кількість туманних днів досягає у році 61, найбільше їх спостерігається взимку (9–12 днів).

Кількість опадів у різних частинах Криворіжжя відрізняється: на півдні регіону випадає 400–430 мм, а на півночі – до 460 мм. Найбільша кількість атмосферних опадів випадає на початку літа. Вересень та період з січня до

березня є найсухішими періодами в році. Вологі роки змінюються сухими і навпаки. Хоча за весь вегетаційний період випадає близько 60–70% опадів.

Л. М. Булава [41] зазначав, що влітку баланс зволоження є дефіцитним: у червні він становить -76 мм, липні – -141 мм, серпні – -142 мм, а М. М. Іванов [137] зволоження на території Криворіжжя вважає нестійким та недостатнім, оскільки коефіцієнт його становить лише 0,54.

На Криворіжжі, особливо в північній його частині, у теплий період року часто випадають ливні. За весь вегетаційний період відмічається 29 днів з ливнями [41].

Метеорологічні умови суттєво впливають на стан навколишнього середовища. Повторюваність штилів і вітрів упродовж року з малою швидкістю становить 64%, що свідчить про вагомую роль метеорологічних параметрів у накопиченні шкідливих речовин та розсіюванні їх у атмосфері, яка залишається сталою. Це призводить до утворення своєрідного мікроклімату – «острова тепла». У Кривому Розі тепліше на 1,8 °С, ніж поза його межами. Особливо це помітно в холодний період року. Протягом річного періоду спостерігається більше опадів, туманів, утворення смогу з низьких хмар і пилогазових викидів підприємств та автотранспорту, знижених доз сонячної радіації тощо [100, 249, 294].

У період досліджень 2016–2019 рр. погодні умови відзначалися наявністю періодів посух, характерних для степової зони України (рис. 2.1). Дані, отримані з метеорологічної станції в Кривому Розі (межі координат – широта 48.03, довгота 33.22, висота над рівнем моря 124 м) [248].

Найхолодніший місяць у році – січень, середня температура повітря у період досліджень коливалася від -2,3 °С (у 2018 р.) до -6 °С (у 2017 р.), а найтепліший – серпень, середньомісячна температура якого становила від +21,7 °С (у 2019 р.) до +24,5 °С (у 2018 р.). Кількість опадів протягом чотирьох років змінювалася від 4 мм – у березні 2018 р. до 351 мм – у червні 2019 р., що у 5,3 раза перевищувало норму.

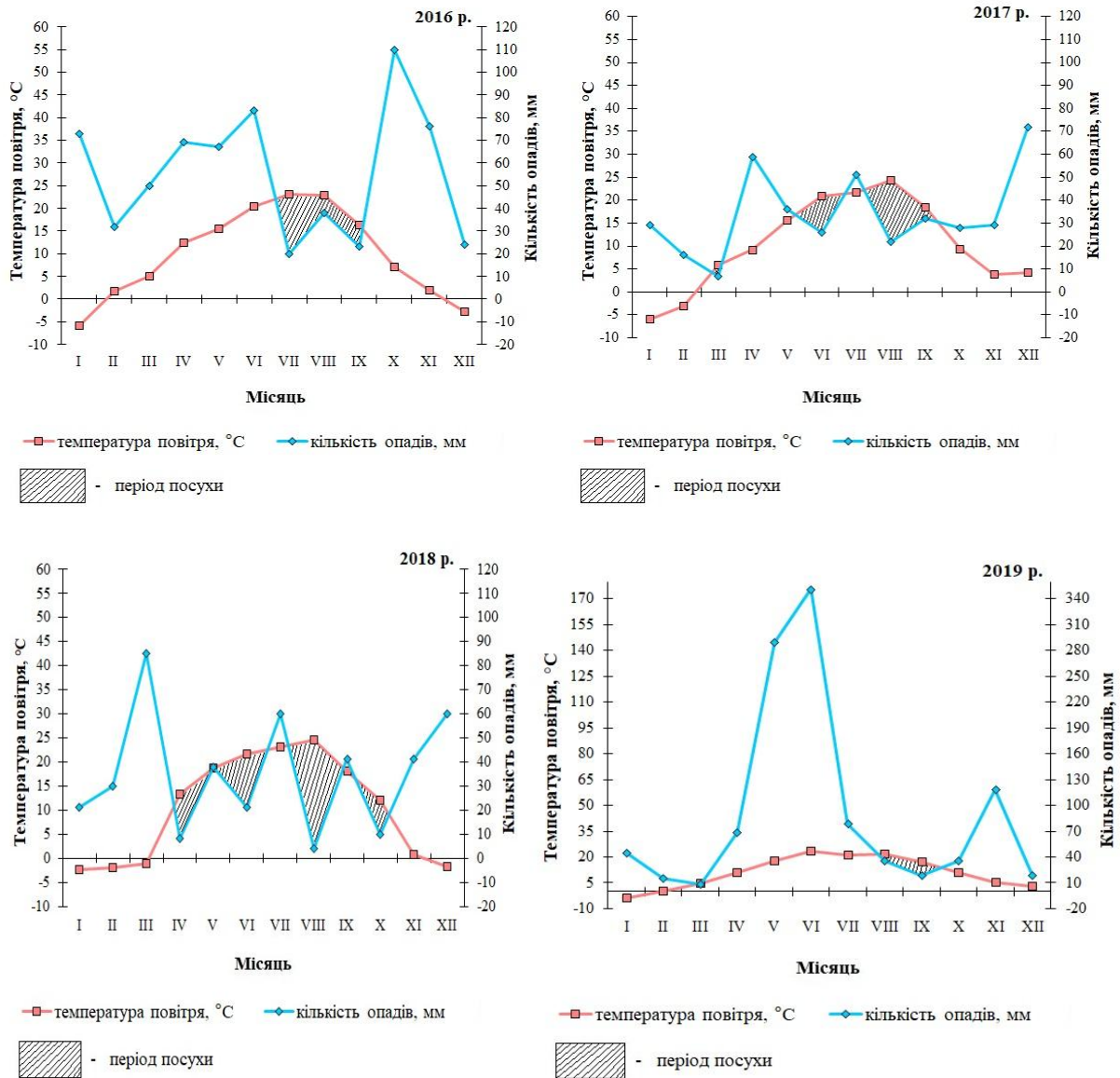


Рис. 2.1. Клімадіаграми за 2016–2019 рр.

У період досліджень з 2016 по 2019 р. відмічені посухи, що характеризуються недостатнім рівнем зволоження та високими показниками температури повітря. Встановлено, що 2018 рік був найпосушливішим порівняно з іншими, оскільки посуха спостерігалася у 4-х місяцях – у квітні, червні, серпні та жовтні, тоді як в інших роках – у 2–3 місяцях. В 2016–2019 рр. у серпні постійно спостерігалися посухи.

Водні ресурси

На території Криворіжжя до водних ресурсів відносяться ріки, штучні водоймища та підземні води кількох водоносних горизонтів. На річках Саксагань та Інгулець водні ресурси поверхневих водних об'єктів

використовуються через значне зарегулювання поверхневого стоку. Всього на Криворіжжі протікають 8 річок: Інгулець з чотирма притоками – Бокова (з притокою Боковенька), Жовта, Зелена, Саксагань; Вербова (притока р. Вісунь, яка також впадає в р. Інгулець) і Кам'янка, що є притокою р. Базавлук. Усі річки, за винятком Саксагані та Інгульця, відносяться до малих річок і входять до басейну Дніпра. На річках, у балках та подах Криворізького регіону побудовано 5 водосховищ і багато ставків, кількість яких переважає 100. До гідрологічних об'єктів також можна віднести ставки-відстійники шахтних вод та шламосховища зі ставками оборотного водопостачання [41]. Територія Криворіжжя відноситься до південної частини Українського басейну тріщинних вод (частини Апостолівського, Широківського районів, Софіївського, П'ятихатського і Криворізького районів). Відповідно до умов залягання та геологічної будови на Криворіжжі виділяють такі водоносні горизонти: тріщинуватих кристалічних порід докембрію, неогенових і палеогенових порід (міжпластові води), четвертинних відкладів (грунтові води) [247]. За іншими даними, виділяється 6 горизонтів: 1 – приурочений до четвертинних лесовидних суглинків та лінз глинистих порід, а в долинах річок – до алювіальних покладів; 2 – відноситься до тріщинуватих вивітрених вапняків та мілкозернистих глинистих пісків; 3 – приурочений до тріщинуватих вапняків та піску; 4 – до пісків; 5 – до різнозернистих пісків, бокситів, бурого вугілля; 6 – до різних літологічних тріщин, зон окислення та вилуговування [41]. Підземні води Криворіжжя стікають у різних напрямках: на південь (в сторону Причорноморської тектонічної западини), до річкових балок, подів, ярів і долин як місцевого базису ерозії, тому на певних ділянках утворюються джерела (вихід підземної води на поверхню землі, наприклад, у балці Кандибіна, в районі скель МОДРу, на березі Кресівського водосховища та інше) і мочажини (місця просочування підземних вод, які видніються як невеликі ділянки з надмірно зволеним ґрунтом) [100, 249].

Ґрунти

На Криворіжжі найбільшу частку займають чорноземи звичайні малогумусні – 67,5%. На півночі наявні важкосуглинисті, а на півдні – легкосуглинисті малопотужні ґрунти, в орному шарі вміст гумусу складає близько 3,4–5,2%. Для ґрунтів легко- та важкоглинистого складу валові запаси гумусу становлять 381–426 т/га та 334–396 т/га відповідно [304]. Негативний антропогенний вплив призводить до поступового зменшення запасів гумусу. У південній частині Криворіжжя ґрунти набувають деяких рис, характерних для чорноземів південних. Пом'якшення клімату на початку 1 тис. до н. е. спричинило підвищення зволоження і знизило континентальність, у результаті чого відбулося вимивання у глибину до горизонту автохтонних карбонатних відшарувань, зниження глибини залягання гіпсоносного горизонту (до 3,5–4 м) та збільшення вмісту глинистих фракцій (до 12–15%) у верхніх горизонтах ґрунтів [41].

У північно-західній частині Криворіжжя знаходяться чорноземи звичайні середньогумусні (потужні та вилужені), середній вміст гумусу в якому складає 6%. Ці ґрунти сформувалися за рахунок глибокого стояння вод під різнотравно-типчакowo-ковиловою рослинністю. У цій частині ареалу переважають слабозмиті ґрунти багатьох різновидностей, вони складають 5% площі всього регіону.

Південніше лінії Миколаївка – Широке – Радуже під типчакowo-ковиловою рослинністю поширені чорноземи південні малопотужні малогумусні, вони становлять 20,3% загальної площі Криворіжжя та мають нижчий рівень зволоження порівняно із зазначеними вище типами ґрунтів.

У заплавах, а також на периферії мікрозападин і подів у комплексі з південними чорноземами поширені лучно-чорноземні ґрунти (4,3% площі території), що мають великий запас елементів мінерального живлення і глибоким гумусованим горизонтом. Їх потужність досягає 60–70 см. Лучно-чорноземні ґрунти, зазвичай, осолоділі та глибокосолонцюваті (сильно- та середньо- рідше, ніж слабосолонцюваті).

Лише 1,2% площі Криворіжжя займають лучні засолені і чорноземно-лучні, глибоко-слабосолонцюваті та слабосолончакуваті ґрунти, вони зустрічаються на днищах подів і балок. Ці ґрунти містять 3,4–5,4% гумусу та характеризуються великою забезпеченістю елементами мінерального живлення потужністю 60 см.

На алювії кристалічних порід чорноземи складають 0,6% площі; на алювії вапняків та щебенистих карбонатах – 0,5%, а на алювії низьких терас (з високим вмістом піску) – 0,4% [41].

Еродовані ґрунти, різні ступенем руйнування, становлять 37% загальної площі Криворіжжя.

І. А. Добровольський [94, 95] та Є. Д. Ющук [316, 317] у своїх працях зазначали, що шкідливі викиди з гірничовидобувних та металургійних комбінатів Криворіжжя призводять зменшення вмісту гумусу в ґрунтах на 8,2–13,9% та появи у них аномалій окремих хімічних елементів. На техногенно порушених територіях утворюються примітивні та фрагментарні ґрунти, подекуди спостерігаються також коротко- та неповнопрофільні. На чорноземі або його суміші з суглинками, де ґрунтоутворення проходить більш інтенсивно, ніж на чистих субстратах, розвиваються педоземи.

Рослинний світ

На Криворіжжі зареєстровано більше ніж 1260 видів вищих рослин [21]. Рослинний світ Криворізького регіону представлений переважно степовою рослинністю, це обумовлено гідрокліматичними факторами – рівнинною територією, дефіцитом вологи, карбонатністю ґрунтів [132].

Просторовий розподіл степової рослинності залежить переважно від умов зволоження ґрунту, які найбільше впливають на розвиток рослин. У північній частині Криворіжжя на привододілах характерними видами є: *Festuca valesiaca* Gaud., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Poa angustifolia* L., *Stipa capillata* L., *Stipa lessingiana* Trin et Rupr. Із бобових переважають такі види: *Camaecytisus ruthenicus* (Fisch et Woloszcz.) Klaskova, *Coronilla varia* L., *Medicago romanica* Prod., *Trifolium montanum* L. та *T. alpestre* L. Із різнотрав'я

відмічені: *Dianthus carbonatus* Klok., *Euphorbia stepposa* Zoz., *Filipendula vulgaris* Moench., *Galium ruthenicum* L., *Silene coringifolia* Andr., *Thymus marashalianus* Willd., *T. dimorphus* Klok. et Shost. На схилах ростуть: *Achillea nobilis* L., *Artemisia austriaca* Jacq., *Botryochloa ischaemum* (L.) Keng., *Cleistogenes bulgarica* (Bornm.) Keng., *Euphorbia segueriana* Neck., *E. stepposa* Zoz., *Nepeta parviflora* Vieb., *Poa bulbosa* L., *Salvia nutans* L., *Sisymbrium polymorphum* (Murr.) Roth., *Stipa pulcherima* C. Koch., *S. pennata* L. [102].

У південній частині Криворіжжя поширені злаки – *Bromopsis riparia* (Rehm) Holub., *Festuca valesiaca* Gaud., *Stipa lessingiana* Trin et Rupr., *S. ucrainica* P.; різнотрав'я – *Dianthus pseudoarmeria* Vieb., *Seseli campestre* Bess., *Tanacetum millefolium* L.; ефемери та ефемероїди – *Androsace elongata* L., *Erophila verna* L., *Gagea erubescens* (Bess.) Schult. et Schult fil., *Veronica verna* L. На сухих східних та південних схилах переважають: *Agropyron pictinatum* (Vieb.) Beauv., *Crinitaria villosa* (L.) Grossh., *Xeranthemum annuum* L. У мікрозападинах із засоленими ґрунтами та верхів'ях балок відмічаються *Goniolimon tataricum* (L.) Boiss., *Limonium platyphyllum* Lincz., а на днищах останніх – *Artemisia santonica* L., *Festuca orientalis* (Hack.) V. Krecz. Et Bobr., *Elytrigia repens* (L.) Nevski. [41].

Рослинність заплавл має багатий видовий склад, який залежить від мозаїчності фаціальної структури. Степові луки на лучно-чорноземних ґрунтах займають найбільш сухі частини високих заплавл, на яких домінують *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Festuca rupicola* Heuft, *Trifolium repens* L. та ін. Луки високого рівня на чорноземно-лучних ґрунтах формуються на більш зволжених ділянках з участю *Alopecurus pratensis* L., *Poa pratensis* L., *Tanacetum vulgare* L., *Trifolium repens* L. тощо. На малозволжених луках, що формуються на чорноземно-лукових глибокослабосолонцюватих суглинистих ґрунтах, спостерігаються угруповання з *Limonium hypanicum* Klok., *Lepidium latifolium* L, а на вологих характерними є *Agrostis stolonifera* L., *Carex secalina* Wahlenb., *C. distans* L., *Heracleum sibiricum* L.,

Triglochin maritimum L. На супіщаних вологих луках переважають *Festuca orientalis* (Hack). V. Krecz. et Bobr., *Juncus gerardii* Loisel., *J. articulatus* L.

На заболочених луках, сформованих на лучно-болотних ґрунтах, зустрічаються такі види: *Agrostis stolonifera* L., *Beckmannia eruciformis* (L.) Host., *Carex vesicaria* L., *C. vulpina* L., *C. acuta* L., біля води – *Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl., *Bidens tripartite*, *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud., *Sagittaria sagittifolia* L., *Typha angustifolia* L. та ін., а з гідрофітів переважають: *Alisma plantago-aquatica* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Lemna trisulca* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Najas marina* L., *Potamogeton perfoliatus* L. У стоячих водоймах влітку розвиваються синьо-зелені водорості [102, 247].

На пісках низьких терас р. Інгулець наявна псамофільна рослинність: на зволжених ділянках росте *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., а на сухих – *Agropyron dasyanthum* Ledeb., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench., *Thymus pallasianus* Н. Braun. та ін. На відслоненнях залізистих кварцитів найпоширенішими є такі види: *Erysimum diffusum* Ehrh., *Euphorbia segeriana* Neck., *Hieracium virosum* Pall., *Kochia prostrata* (L.) Schrad., *Melica transsilvanica* Schur., *Sedum arce* L., *S. ruprechtii* (Jalac) Omelcz., *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C.B. Lehm., з папоротей відмічаються – *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh., *Asplenium trichomanes* L., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н. P. Fuchs.

На елювії вапняків можуть рости: *Genista scythica* Pacz., *Haplophyllum suaveolens* (DC) G. Don fil., *Jurinea brachycephala* Klok. та ін.

Із деревних рослин найпоширенішими видами є: *Acer campestre* L., *A. tataricum* L., *Quercus robur* L.; у підліску та на узліссях – *Crataegus fallacina* Klok., *Prunus spinosa* L., *Rhamnus cathartica* L.; у трав'яному покриві – *Aegopodium podagraria* L., *Anthriscum sylvestris* (L.) Hoffm., *Dactylis glomerata* L. У деревостанах, що знаходяться в північній частині регіону подекуди з'являється *Carpinus betulus* L. У заплавлених лісах зустрічаються: *Salix acutifolia* Willd., *S. purpurea* L., *S. triandra* L., *Populus nigra* L. Особливе

місце займають чагарникові степи привододілів: *Amygdalus nana* L., *Camaecytisus ruthenicus* (Fisch et Woloszcz.) Klaskova, *C. austriacus* (L.) Link., *Caragana frutex* (L.) C.Koch., *Cerasus fruticosa* Pall.

Ліси Криворіжжя становлять лише 4,5% та мають переважно штучне походження, серед них найбільшу площу складають: Гурівський ліс (619 га), водозахисні насадження біля Південного та Карачунівського водосховищ. Найпоширенішими у лісових насадженнях є: *Ácer campéstre* L., *Á. negúndo* L., *Á. tatáricum* L., *Fraxinus excelsior* L., *Quercus robur* та *Robinia pseudoacacia* [41].

В урбанofлорі Кривого Рогу виявлено 103 рідкісних видів рослин, які входять до 3-х відділів (Magnoliophyta, Pinophyta, Polypodiophyta), 4-х класів, 33 родин та 59 родів [182]. Більшість рослин відноситься до родин *Liliaceae* (9 видів), *Fabaceae* (8), *Ranunculaceae* та *Alliaceae* (по 6), *Poaceae* (5), *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Iridaceae* (по 4 види), із решти родин налічується по 1–3 види, а з відділу Pinophyta виявлено 1 вид, що належить до родини *Ephedraceae* [247].

Під впливом антропогенного чинника у рослинних угрупованнях почали з'являтися та домінувати бур'яни: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Centaurea diffusa* Lam., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Salsola iberica* (Sennen & Pau) Botsch.

У балках наявні види, які охороняються: *Astragalus dasyanthus* Pall., *Crocus reticulatus* Steen. ex Adams, *Gymnospermium odessanum* (DC.) Takht., *Paeonia tenuifolia* L., *Stipa capillata* L., *S. lessingiana* Trin. et Rupr. та ін. [247].

Тваринний світ

Криворізький регіон знаходиться в зоні центрального Правобережного степу, за зоогеографічним районуванням України належить до Понтійського округу, Азово-Чорноморського району в межах Західної степової або Північноморської ділянки [90]. За Л. Б. Булавою [41] Криворіжжя відноситься до Дністровсько-Дніпровського зоогеографічного району.

Фауна ссавців налічує 25 видів, серед яких зустрічаються промислово-мисливські: дикий кабан (*Sus scrofa* L.); заєць-русак (*Lepus europaeus* Pallas), звичайна лисиця (*Vulpes vulpes* L.), європейська козуля (*Capreolus capreolus* L.), кам'яна куниця (*Martes foina* Erx.); акліматизовані – енотовидний собака (*Nyctereutes procyonoides* Gray), ондатра (*Ondatra zibethica* L.); а також типові непромислові види – пізній кажан (*Vespertilio serotinus* L.), руда вечорниця (*Nyctalus noctula* Schreber), домашня миша (*Mus musculus* L.), звичайна полівка (*Microtus arvalis* Pall.), лісова миша (*Apodemus sylvaticus* L.), сірий пацюк (*Rattus norvegicus* Berkenhout), ласка (*Mustella nivalis* L.) тощо [90, 294].

Рідкісними і охоронюваними видами є: борсук (*Meles meles* L.), степовий тхір (*Mustela eversmanni* Lesson), які поширені в незначній кількості спорадично. Численною серед зазначеної групи видів є степова мишівка (*Sicista subtilis* Pallas). На північ від с. Лозуватка трапляються 2 види, що занесені до Червоної книги України (2-ге видання) – це тушканчик великий (*Allactaga jaculus* Pallas) і сліпиш подільський (*Spalax zemni* Erxleben).

На Криворіжжі налічується 166 видів птахів, 133 з яких є гніздовими. Серед широко поширених деякі з них є об'єктами полювання: велика білолоба гуска (*Anser albifrons* Scop.), великий норець (*Podiceps cristatus* L.), гуменник (*Anser fabalis* L.), крижень (*Anas platyrhynchos* L.), сіра гуска (*Anser anser* L.), чирянка мала (*Anas crecca* L.), меншою мірою – нерозень (*Anas strepera* L.); перепел (*Coturnix coturnix* L.), сіра куріпка (*Perdix perdix* L.), червоноголова чернь (*Aythya ferina* L.), чубата чернь (*Aythya fuligula* L.) та фазан (*Phasianus colchicus* L.) – вид, який реакліматизований по всій території [90].

Серед плазунів наявні 7 видів: водяний вуж (*Natrix tessellata* Laurenti), звичайний вуж (*Natrix natrix* L.), прудка ящірка (*Lacerta agilis* L.), у невеликій кількості у річках Інгулець та Саксагань, деяких озерах зустрічається черепаха болотяна (*Emys orbicularis* L.), на півночі спорадично по дібровам, ярах трапляється зелена ящірка (*Lacerta viridis* Laurenti) та дуже рідко –

жовточеревий полоз (*Coluber jugularis* Gmelin) та степова гадюка (*Vipera ursinii renardi* Christoph) [90, 294].

На Криворіжжі фауна риб нараховує 36 видів. Є інтродуковані види: білий амур (*Stenopharyngodon idella* Valenciennes), білий товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes), сріблястий карась (*Carassius auratus gibelio* Bloch). Каналом «Дніпро – Кривий Ріг» із річки Дніпро та рікою Інгулець проникли бичок-кругляк (*Neogobius melanostomus* Pallas), голка-риба пухлощока (*Syngnathus nigrolineatus* Eichwald), триголкова колючка (*Gasterosteus aculeatus* L.), тюлька (*Clupeolla delicatula* Nordmann). Господарче значення мають: густера (*Blicca bjoerkna* L.), звичайна щука (*Esox lucius* L.), звичайний окунь (*Perca fluviatilis* L.), звичайний судак (*Lucioperca lucioperca* L.), плітка (*Rutilus rutilus* L.), короп (*Cyprinus carpio* L.), лящ (*Abramis brama* L.), які поширені як у штучних, так і природних водоймах [90, 294].

До «Червоної книги Дніпропетровської області» занесені 10 видів риб: азовська перкаріна (*Percarina demidoffii* Nordmann), звичайний в'юн (*Misgurnus fossilis* L.), звичайний в'язь (*Leuciscus idus idus* L.), звичайний (золотий) карась (*Carassius carassius* L.), річковий минь (*Lota lota* L.), звичайний пічкур (*Gobio gobio* L.), звичайний рибець (*Vimba vimba* L.), звичайний ялець (*Leuciscus leuciscus* L.), триголкова колючка (*Gasterosteus aculeatus* L.), чорноморсько звичайний вусатий голець (*Barbatula barbatula* L.).

Найбільшою та найчисельнішою за видовим складом є група безхребетних тварин, вона нараховує близько 7000 видів, з яких основна кількість представлена комахами – до 5300–5800 видів [90].

Ландшафт

На території Криворіжжя виявлено два типи ландшафтів – степовий і заплавний, два підтипи – північно- та середньостеповий та шість видів із субширотним розміщенням меж – заплавні (5,4%), надзаплавно-терасові

(11,8%), схилів придолинні (2,1%), приводороздільні та приводороздільно-схилів (62,1%), днища і схили балок (18,6%) [41].

Розвиток гірничовидобувної промисловості призвів до антропогенної трансформації сучасних ландшафтів та формування техногенних порушених територій. Так, кар'єри у Криворізькому басейні займають площу близько 4,0 тис. га, відвали та хвостосховища – по 6,0 тис. га. Їхня глибина становить 100–200 і більше метрів [294]. Загалом, площа техногенних ландшафтів цього регіону становить близько 20 тис. га [41, 191]. Порушені землі характеризуються строкатістю гірських порід та їх сумішей, що призводить до формування техногенних фацій, деякі стадії їх формування не мають аналогів серед природних ландшафтів [41].

Отже, враховуючи зазначені вище дані, слід відмітити, що природно-кліматичні умови Криворізького регіону мають свої особливості. Тому, проведення екологічних досліджень на території Криворіжжя є актуальними, завдяки яким можна отримати багато інформативного та науково цінного матеріалу як для науковців, так і для спеціалістів зеленого будівництва.

2.2. Екологічний стан Кривого Рогу

Кривий Ріг – великий індустріальний центр, що знаходиться в Дніпропетровській області, з різнобічним проявом техногенного впливу на навколишнє середовище. До складу Кривого Рогу входять сім адміністративних районів: Тернівський, Покровський, Саксаганський, Металургійний, Центрально-Міський, Довгинцівський, Інгулецький. Загальна площа міста становить 42,5 тис. га, 19% якої використано під житлову забудову [19].

У місті функціонує потужний гірничо-металургійний комплекс, кінцевим продуктом діяльності якого є: залізна руда, концентрат, окатиші, агломерат, чавун, сталь, готовий прокат (арматура, куток, катанка). Питома вага гірничо-металургійного комплексу – 93,4% загальних обсягів промислового виробництва в місті. Основними забруднюючими речовинами

атмосферного повітря є оксид вуглецю – 73%, пил – 15%, діоксид азоту – 5%, діоксид сірки – 3% та інші речовини – 4% (аміак, діазоту оксид, метан, сірководень, фенол, формальдегід), вони становлять майже 96% від загального обсягу викидів шкідливих речовин.

Загальна кількість викидів в атмосферне повітря кожного року значно перевищує рівень ГДК. Так, наприклад, у період досліджень частка шкідливих речовин, які потрапили у навколишнє середовище, становила 342,881 тис. т. – у 2016 р., 323,904 тис. т. – у 2017 р., 267,433 тис. т. – у 2018 р. [254, 255, 256].

На стан навколишнього середовища в Кривому Розі найбільше впливають промислові підприємства: ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», ПАТ «ХайдельбергЦемент Україна», ПАТ «ПівдГЗК», ПрАТ «ПівнГЗК», ПрАТ «ЦГЗК», ПрАТ «ІнГЗК», ПрАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА», структурний підрозділ ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», ГЗК «УКРМЕХАНОБР», ПрАТ «Криворізький завод гірничого обладнання». Серед них, за даними Департаменту екології та природних ресурсів Дніпропетровської облдержадміністрації ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і ПрАТ «ПівнГЗК» здійснюють найбільше викидів у атмосферне повітря не тільки у Кривому Розі, а й по всій області (табл. 2.1) [254, 255, 256].

Таблиця 2.1

Валові викиди шкідливих речовин у атмосферне повітря промисловими підприємствами у м. Кривий Ріг, тис. тонн

№ з/п	Назва підприємства	2016 рік	2017 рік	2018 рік
1	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	275,1	263,0	208,1
2	ПрАТ «ПівнГЗК»	8,998	8,193	9,099

Значно нижчий, однак, суттєвий негативний вплив у міському середовищі спричиняє автотранспорт. У 2015 році кількість викидів автотранспортними засобами у місті становила 11% від загального обсягу. Завантаження доріг, збільшення кількості автотранспортних засобів в останні

роки, відсутність нейтралізаторів у багатьох автомобілів вітчизняних марок і старих іномарок, тривалість експлуатації автотранспорту призвели до зростання впливу пересувних джерел у загальний фон забруднення атмосферного повітря Кривого Рогу [100].

Основним джерелом впливу на стан довкілля при експлуатації автотранспорту є викиди забруднюючих речовин від двигунів внутрішнього згоряння, а також використання палива, що не відповідає вимогам екологічних норм. У вихлопних газах встановлено близько 280 компонентів нафтових продуктів, а також неорганічних сполук певних речовин, присутніх у паливі, найпоширенішими з яких є: альдегіди, бензопірен, важкі метали, вуглеводні, оксиди азоту, сажа.

Надходження токсичних речовин у повітря з різних джерел забруднення призводить до погіршення його якості та стану навколишнього середовища. Загалом, рівень забруднення повітря у Кривому Розі оцінюється як вище середнього [100].

2.3. Об'єкт та методи досліджень

Об'єктом дослідження було обрано березу повислу (*Betula pendula*).

Оскільки Кривий Ріг має велику протяжність – 126 км, у різних районах міста і місцях зростання рослин рівень забруднення відрізняється. Тому для проведення комплексних досліджень було відібрано 8 дослідних ділянок з урахуванням їх розташування по довжині міста та рівня аеротехногенного забруднення у трьох районах: у Тернівському, Покровському та Металургійному (рис. 2.2):

- дослідна ділянка № 1 – знаходиться в Тернівському районі у зоні з незначним рівнем забруднення (Криворізький ботанічний сад НАН України (КБС) – умовний контроль);
- дослідна ділянка № 2 – розміщена у Покровському районі на перетині вулиць 20-го Партз'їзду та Кропивницького у зоні з незначним рівнем забруднення (сквер «Поляна казок»);

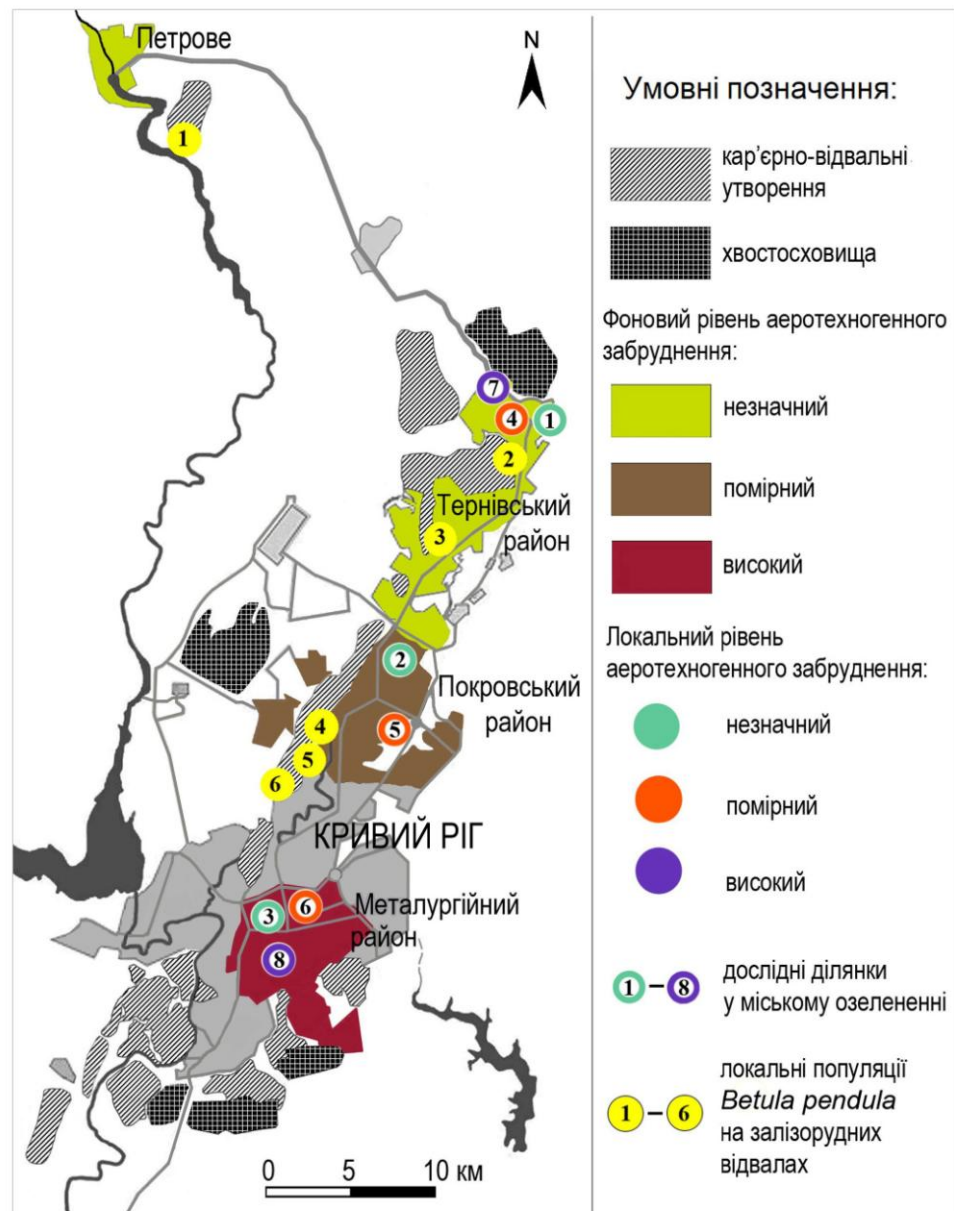


Рис. 2.2. Картосхема розміщення дослідних ділянок у районі досліджень

- дослідна ділянка № 3 – знаходиться в Металургійному районі у зоні з незначним рівнем забруднення (парк Героїв АТО);
- дослідна ділянка № 4 – розташована у Тернівському районі у зоні з помірним рівнем забруднення (вул. Черкасова, довжина вулиці – 970 м, ширина – 11 м з високим рівнем автотранспортного руху ≈ 1546 шт./ год);
- дослідна ділянка № 5 – знаходиться в Покровському районі у зоні з помірним рівнем забруднення (вул. Електрозаводська, довжина вулиці –

6,5 тис. м, ширина – 14 м з високим рівнем автотранспортного руху \approx 1785 шт./ год.);

- дослідна ділянка № 6 – розташована у Металургійному районі у зоні з помірним рівнем забруднення (просп. Металургів, його довжина – 2,4 м, площа 43,2 тис. м² з високим рівнем автотранспортного руху \approx 2864 шт./ год., має по 2 дорожні смуги у кожному напрямку);
- дослідна ділянка № 7 – знаходиться в Тернівському районі у зоні високим рівнем забруднення (біля ПрАТ «ПівнГЗК»);
- дослідна ділянка № 8 – розміщена у Металургійному районі у зоні високого рівня забруднення (біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»).

Окремо проводили дослідження природних поселень *V. pendula* на 6-ти залізородних відвалах Криворіжжя Північного та Центрального гірничо-збагачувальних комбінатів:

1. Петрівський відвал (ПрАТ «ЦГЗК») – розташований між смт. Петрово та с. Богданівка на лівому березі Іскрівського водосховища, має площу підосви 87 га. Відсипка розпочалась у 1977 році. Субстрат представлений гранітом, кварцитами, сланцями, суглинками, пісками, супісками і глинами [186].

2. Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру (ПрАТ «ПівнГЗК») – знаходиться в Тернівському районі, сформований у 1968–1973 рр. Має три берми: висота першої – 80 м, другої – 112 м, третьої – 142 м над рівнем моря, висота підніжжя – 50 м. Субстрат утворений із порід сланцевих горизонтів, залізистих кварцитів, суглинків та частково глин, подекуди наявні слабко- (1 берма) та фрагментарно розвинуті (2 і 3 берми) ґрунти. Схили (кут нахилу – 32–35°) відсипані переважно суглинками або їх сумішшю з кварцитами та сланцями [271].

3. Відвал шахти ім. Леніна (Ленінський) – розміщений у Тернівському районі, площа підосви досягає 32 га, сформований з відходів видобутку гематитової руди. Продукти вивітрювання скельних порід мають

інтенсивний темно-червоний колір. Гірничо-технічні роботи припинені у середині 60-х років ХХ ст. [186].

4. Відвал шахти «Більшовик» – знаходиться в Саксаганському районі, розташований між залізничною гілкою Кривий Ріг – П'ятихатки та діючим Глеюватським кар'єром. Відсипка відвалу припинена близько 30 років тому, площа підшви – 56 га. Серед розкривних порід переважають четвертинні суглинки, наявні сланці та малорудні кварцити [101, 186].

5. Відвал «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» – закладений на початку 60-х, знаходиться в південно-східній частині від Глеюватського кар'єру, поблизу якого розташовані дачні ділянками [102].

6. Відвал № 7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» – створений на початку 60-х, знаходиться в південно-східній частині від Глеюватського кар'єру, нижня частина відвалу складена скельними породами, причому значні площі займає сланцева відсипка. Верхнє плато відсипане суглинками [102].

Відбір насаджень та обстеження рослин здійснювали за допомогою **маршрутного** методу [202]. Місце закладання ділянок відбиралось таким чином, щоб всі дерева були однорідними за всіма таксаційними показниками та відносились до однієї вікової групи. На дослідних ділянках було по 30 і більше дерев.

Дослідження популяційної структури *B. pendula* здійснювали в 11 локусах *B. pendula*, виявлених на 4-х залізорудних відвалах Криворіжжя: 2 – на Петрівському відвалі та по 3 – на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру, № 7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» і на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК».

Кореневу систему самосіву *B. pendula* вивчали на 6 відвалах у різних місцях зростання.

Життєвий стан дерев оцінювали (по 30 шт. на кожній дослідній ділянці) за методикою В. А. Алексєєва [6], в якій представлено 5 шкал:

1 – здорове дерево, яке не має зовнішніх ознак пошкоджень крони та стовбура, листки зеленого або темно-зеленого кольору з незначним ураженням (< 10%), що не позначаються на стані дерева.

2 – пошкоджене (ослаблене) дерево, у якого відмічено зниження щільності крони на 30%, або зрідження скелетної частини крони, наявність 30% усихаючих гілок у верхній частині крони, пошкодження 30% всієї площі листків за різними причинами, які призводять до ослаблення життєвого стану дерева на 30%.

3 – дуже пошкоджене (дуже ослаблене) дерево, у якого спостерігається зниження щільності облиствлення крони, наявність мертвих та усихаючих гілок у верхній половині крони та пошкодження площі листків на 60%, що призводить до відмирання верхівки крони та ослаблення загального життєвого стану дерева на 60%.

4 – відмираюче дерево, яке має зруйновану крону, більше 70% сухих, або усихаючих гілок, листя переважно хлоротичне блідо-зеленого, жовтуватого, жовтого та помарачево-червоного кольору, наявні повністю некротизовані листки, які швидко злітають з дерев.

5а – свіжий сухостій, тобто дерева, які відмерли менше року назад, вони часто заселені комахами-ксилофагами.

5б – старий сухостій – дерева, які відмерли більше року назад, у яких поступово втрачаються гілки та кора.

На основі даних, отриманих у результаті оцінки життєвого стану, деревам присвоювався певний коефіцієнт: здоровим – 100%, мертвим – 0%. Для дерев проміжних градацій були визначені коефіцієнти, що відповідають життєвому стану до моменту перерахунку.

Відносний життєвий стан насадження оцінювали за формулою:

$$L_n = (100 n_1 + 70 n_2 + 40 n_3 + 5 n_4) / N,$$

де L_n – відносний життєвий стан деревостану, розрахований за кількістю дерев;

n_1 – кількість здорових;

n_2 – пошкоджених;

n_3 – дуже пошкоджених;

n_4 – відмираючих дерев;

N – загальна кількість дерев (включаючи сухостій) у дослідженому деревостані.

При наявності 100–80% дерев, які не мають зовнішніх ознак пошкоджень крони та стовбура, життєвий стан деревостану оцінювався як «здоровий», при 79–50% – пошкодженим, при 49–20% – дуже пошкодженим, при 19% та нижче – повністю зруйнованим [6].

Для визначення **біометричних параметрів** дерев було використано мірну вилку. Дослідження проводили за стандартними таксаційними методиками [202].

Діаметр стовбура вимірювали на певній висоті – на рівні кореневої шийки та на рівні 1,3 м. При вимірюванні рухому ніжку мірної вилки відводили від нерухомої, прикладали лінійкою до стовбура перпендикулярно його осі та притискували рухому ніжку. Значення, на якому зупинилася рухома ніжка, відмічали як показник діаметра стовбура.

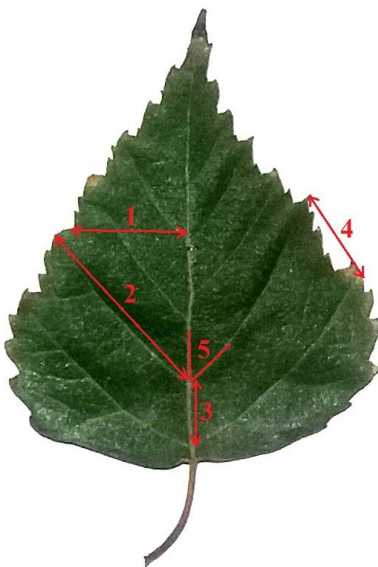
Виміри **висоти дерев** здійснювали за певними правилами: від дерева відходили на деяку відстань, щоб добре було видно його вершину, рухому ніжку встановлювали до тієї позначки, щоб відстань між ніжками в сантиметрах дорівнювала відстані від дослідника до дерева в метрах. Потім уздовж внутрішнього боку нерухомої ніжки мірну вилку спрямовували на вершину дерева так, щоб нитка з підвісом займала вертикальне положення. Значення, на якому зупинилася нитка, відмічали як показник висоти досліджуваного дерева (точність виміру ± 5 –8%) [202].

Діаметр горизонтальної проекції крони визначали шляхом замірів її країв у напрямках пн–пд і сх–зх на горизонтальну поверхню з виміром відстані рулеткою і наступним обчисленням середнього діаметра крони. За допомогою математичних формул визначали **площу проєкції та об'єм крони** [55].

Вік дерева визначали за допомогою даних року посадки насаджень у місті [102, 291].

Для дослідження **морфометричних параметрів** листків збір матеріалу проводили після зупинки їх ростових процесів з 10 дерев на кожній ділянці по 10 шт., листки збирали з нижньої частини крони приблизно однакового розміру з максимальної кількості доступних гілок, з укорочених пагонів відносно рівномірно навколо дерева, всі листки упаковувались в поліетиленовий пакет, у нього поміщали етикетку з назвою місця і дати збору, зберігали в холодильнику до 2-х днів. Для вимірів довжини черешка, довжини і ширини листкової пластинки використовували вимірювальний циркуль, яким знімали показники, та лінійку [200]:

Рівень **флуктуючої асиметрії (ФА)** листка визначали за методикою В. М. Захарова зі співавт. [128]. З кожного екземпляра знімали показники за п'ятьма ознаками з лівого і правого боків листка (рис. 2.3). Проміри 1–4 здійснювалися вимірювальним циркулем та лінійкою, значення отримували у мм, кут між жилками (5) – транспортиром, показники відмічалися у градусах.



- 1 – ширина половини листка;
- 2 – довжина жилки листка другого порядку;
- 3 – відстань між основою першої і другої жилок другого порядку;
- 4 – відстань між кінцями першої і другої жилок другого порядку;
- 5 – кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою другого порядку.

Рис. 2.3. Параметри вимірів листкової пластинки *Betula pendula* Roth

Величину асиметрії у рослин визначали як різницю в промірах зліва і справа, віднесену до суми промірів на двох сторонах. Спочатку для кожного листка за кожною ознакою розраховували відносні величини асиметрії. Для цього модуль різниці між промірами зліва (L) і справа (R) ділили на суму цих же промірів:

$$|L + R| / |L - R|.$$

За допомогою значень ФА за кожною ознакою обчислювали показник асиметрії для кожного листка, підсумовуючи їх, отримане значення ділили на кількість ознак:

$$Z = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) / N,$$

де N – кількість ознак.

Після цього визначали середні відносні відмінності між сторонами на ознаку для вибірки (інтегральний показник) за формулою:

$$X_{\text{сеп.}} = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) / n,$$

де n – кількість листків.

Оцінку якості середовища здійснювали за п'ятибальною шкалою ступеня порушення стабільності розвитку *B. pendula*:

I – умовна норма (ФА < 0,040);

II – незначне відхилення від норми (ФА = 0,040–0,044);

III – середній рівень відхилення від норми (ФА = 0,045–0,049);

IV – значне відхилення від норми (ФА = 0,050–0,054);

V – критичиний стан (ФА > 0,054) [305, 306].

З кожного пункту відбору відмічали кількість листків із зігнутою верхівкою з направленням у певну сторону та визначали їх відсоток [201].

Анатомічну будову листкової пластинки досліджували на тимчасових препаратах за допомогою стандартної методики [220]. Поперечні зрізи листків здійснювали за допомогою санного мікротому МС-2. Дослідження **продихового апарату** проводили за методикою Г. Х. Молотковського [205] на відбитках епідермісу, знятих із живих рослин. Тимчасові препарати зрізів та відбитків продихів досліджували під світловим мікроскопом Carl Zeiss

Primo Star (Німеччина) при збільшенні 40×10. Товщину листкової пластинки та її тканин (верхнього і нижнього епідермісу, палісадної і губчастої паренхіми), розміри продихів, а також їх щільність розташування на 1 мм² епідермісу визначали на фотографіях, отриманих цифровим фотоапаратом Canon PowerShot A620 в програмі Axio Vision Rel. 4.8.2.0. (06-2010). Повторність замірів анатомічної будови листка – 30-кратна, морфометричні параметри продихів досліджували по 100 шт. з насадження.

Площу продиху розраховували за формулою:

$$S = \frac{\pi lw}{4},$$

де S – площа продиху;

l – довжина;

w – ширина продиху [335].

Для визначення щільності продихів спочатку в полі зору мікроскопа підраховували їх кількість при збільшенні 40×10. Площу поля зору вираховували шляхом перемноження дистальних показів горизонтальної та вертикальної лінійок робочої області програми. Кількість продихів обчислювали за формулою:

$$N = \frac{n}{S},$$

де N – кількість продихів на 1 мм², шт.;

n – кількість продихів в полі зору мікроскопа, шт.;

S – площа поля зору мікроскопа, мм² [17].

Для характеристики товщини листкової пластинки використовували класифікацію Б. Р. Васильєва [50], який виділив п'ять категорій цього показника для деревних видів: < 100 мкм – надзвичайно тонкий листок; 100–150 мкм – дуже тонкий; 150–200 мкм – тонкий; 200–250 мкм – середній; 250–300 мкм – товстий; 300–500 мкм – дуже товстий, > 500 мкм – надзвичайно товстий. Величину коефіцієнта палісадності (відношення товщини палісадної тканини до товщини всього мезофілу у відсотках) визначали за іншою

класифікацію Б. Р. Васильєва [50]: < 30% – дуже низький; 30–40% – низький; 40–50% – середній; 50–60% – високий; > 60% – дуже високий.

Вміст пігментів (хлорофілів та каротиноїдів) установлювали за методикою А. Р. Вельбура [497]: листкові пластинки подрібнювали, зважували по 10 мг (0,1 г) з кожного насадження, переносили в пробірки, в кожену з яких потім додавали по 2 мл диметилсульфоксиду (ДМСО). Пробірки витримували на водяній бані 3 години при 67 °С. Далі попередньо підготовлені чисті кювети наповнювали отриманою рідиною з пробірок та переносили у спеціально відведене місце у спектрофотометрі СФ – 2000 та проводили вимірювання вмісту пігментів при довжині хвилі 665 і 649 мкм – для хлорофілів *a* і *b*, 480 мкм – для каротиноїдів. Розрахунки концентрації фотосинтетичних пігментів здійснювали за спеціально розробленими формулами:

$$C_a = 12,19 \times A_{665} - 3,45 \times A_{649},$$

$$C_b = 21,99 \times A_{649} - 5,32 \times A_{665},$$

$$C_{\text{кар.}} = (1000 \times A_{480} - 2,14 C_a - 70,16 C_b) / 220,$$

де C – концентрація пігментів, $\text{мг}/\text{мл}$.

Життєві форми *V. pendula*, яка росте на відвалах, визначали за класифікацією О. О. Чистякової [303]. У кожному локусі підраховували кількість особин, площу заселеної території на 1 га та щільність рослин на 100 м^2 за відношенням їх кількості до одиниці площі [130].

Вікову структуру визначали шляхом виділення вікових груп відповідно до класифікації Т. О. Работнова [251] з доповненнями О. О. Уранова [287], які були виражені у відсотках [126]. Індекс віковості (Δ) та індекс ефективності (ω) розраховували за формулами О. О. Уранова [287] та Л. А. Животовського [114] відповідно:

$$\Delta = \frac{\sum K_i m_i}{\sum K_i},$$

де $\sum K_i$ – сума рослин усіх вікових станів;

m_i – віковість особин;

$$\omega = \sum \frac{n_i e_i}{\sum n_i},$$

де n_i – абсолютна кількість рослин i -того вікового стану;

e_i – значення ефективності рослин i -того вікового стану, визначене Л. А. Животовським.

За двома індексами, які є основою класифікації «дельта-омега» (Δ/ω) визначали тип нормальних популяційних локусів [314].

Ступінь самопідтримання в популяційних локусах оцінювали за індексом відновлення Л. А. Жукової [120] як співвідношення кількості прегенеративних рослин до кількості генеративних особин (J_B):

$$J_B = \frac{j + im + v}{g_1 + g_2 + g_3},$$

де j, im, v, g_1, g_2, g_3 – вікові стани.

Віталітетний аналіз проводили згідно методики Ю. А. Злобіна [130]. Віталітет визначали за двома параметрами – висота дерева, діаметр стовбура на рівні 1,3 м. Значення ознак ранжували, а потім розподіляли на три класи – низький (с), середній (b) і високий (a), межі яких знаходили за загальним середнім для сукупної вибірки та довірчих інтервалів, установлених за формулою:

$$x_{cp} \pm t_{0,05} S_{x_{cp}},$$

де x_{cp} – середнє арифметичне;

$t_{0,05}$ – значення t-критерію Стьюдента;

$S_{x_{cp}}$ – помилка середнього арифметичного.

Значення ознаки більше $x_{cp} + t_{0,05} S_{x_{cp}}$ відносили до високого класу (a); при $x_{cp} \pm t_{0,05} S_{x_{cp}}$ – до середнього (b) класу; при $x_{cp} - t_{0,05} S_{x_{cp}}$ – до низького. У кожному популяційному локусі визначали частку рослин *B. pendula* кожного із класів віталітету та оцінювали величину індексу якості (Q):

$$Q = \frac{1}{2} (a+b),$$

де a – частка особин класу «a» віталітету;

b – частка особин класу «b» віталітету.

Ступінь процвітання або депресивності, популяційних локусів визначали за формулою:

$$Iq = (a+b)/2c.$$

До процвітаючих відносили популяційні локуси, в яких переважали особини вищого класу ($Q = 1/2(a+b) > c$), до рівноважних – при однаковому траплянні особин усіх класів ($Q = 1/2(a+b) = c$), а до депресивних ті, в яких було більше рослин третього (с) класу віталітету ($Q = 1/2(a+b) < c$) [130].

Індекс віталітету (IVC) розраховували шляхом зважування середніх значень декількох ознак:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{X_i}{\bar{X}_i}}{N},$$

де X_i – середнє значення i -ї ознаки в популяційному локусі;

\bar{X}_i – середнє значення i -ї ознаки для всіх популяційних локусів;

N – число ознак [320].

Кореневу систему самосіву досліджували за допомогою методу повної розкопки. Після відмивання коренів їх розподіляли на фракції за діаметром: до 1 мм, 1-2 мм, 2-5 мм, 5-10 мм, 10-50 мм, >50 мм. Визначення діаметра коренів проводилося за допомогою штангенциркуля, кожен корінь вимірювався в двох-трьох місцях [143].

Об'єм коренів визначали за допомогою звичайних мірних циліндрів. Для цього брали два однакових мірних циліндра, ємність яких трохи перевищувала об'єм коренів. В один циліндр наливали воду до верхньої мітки, а у інший – порожній, поміщали корені, після чого в другий циліндр доливали воду з першого до верхньої позначки. При цьому коріння, залиті водою, ретельно перемішували, для того щоб позбутися від затриманих між коренями численних бульбашок повітря. Кількість води, що залишилася в першому циліндрі відповідала об'єму коренів [257].

Масу коренів досліджували за допомогою електронних вагів AXIS A 500 (Україна), на яких зважували корені по фракціям і повністю.

Бічну поверхню кореневої системи підраховували для кожної фракції окремо за формулою:

$$S = \frac{4V}{D},$$

де S – площа бічної поверхні коренів, см^2 ;

V – об'єм коренів певного діаметра (D), см^3 .

Загальну поверхню всіх коренів визначали шляхом підсумовування поверхні всіх фракцій [257].

Довжину коренів досліджували спочатку для кожної фракції, а потім для всієї кореневої системи за формулою:

$$L = \frac{S}{\pi \times D},$$

де L – довжина коренів, см ;

S – поверхня кореневої системи, см^2 ;

D – діаметр, см [257].

Для вимірювання **морфометричних параметрів** тичинкових та маточкових сережок використовували штангенциркуль. Генеративні органи збирали по 10 шт. з 10 дерев в кожному насадженні – тичинкових сережок (на початку квітня) та з 5 дерев по 10 шт. – жіночих суцвіть (у кінці серпня – на початку вересня) рівномірно навколо дерева з максимально доступних гілок.

Для дослідження **морфо-фізіологічних** параметрів пилку його збір здійснювали в період масового цвітіння (на початку квітня) з 10 дерев 8 насаджень у трьохкратній повторювальності шляхом струшування в пакети із кальки, які надалі зберігали в ексікаторі над хлористим кальцієм при температурі $+5^\circ \text{C}$. Мікропрепарати з пилкових зерен *B. pendula* готували за стандартною методикою [226] та переглядали за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (Німеччина) при збільшенні 40×10 . Фотографували цифровою камерою Canon PowerShot A620.

Для визначення **морфометричних параметрів пилку** у різних насадженнях мікропрепарати розглядали в дистильованій воді.

Типи та види аномалій пилкових зерен встановлювали, використовуючи класифікацію В. Н. Кобзаря [155] та роботу Л. Карлсдоттір зі співавт. [344].

Якість пилку встановлювали йодним методом за вмістом крохмалю у пилкових зернах. Йодний розчин використовували в якості барвника. Аналізували по 1000 шт. з кожного насадження. Фертильний і стерильний пилок визначали за інтенсивністю забарвлення його внутрішнього вмісту: 1) нормально пофарбований (темно коричневий); 2) слабо пофарбований (світло коричневий); 3) незабарвлений (прозорий). Пилкові зерна 1-ї та 2-ї груп вважали фертильними, а 3-ї – стерильними [226].

Кількість фертильних та стерильних пилкових зерен визначали у відсотках (%). Коефіцієнт стерильності пилку підраховували за формулою:

$$K_{cn} = \frac{C_{pd}}{C_k},$$

де K_{cn} – коефіцієнт стерильності пилку;

C_{pd} – стерильність пилку в насадженні;

C_k – стерильність пилку в контролі.

Коефіцієнт чутливості пилкових зерен до рівня техногенного забруднення визначали шляхом відношення частки фертильного пилку до стерильного:

$$K_{\phi} = \frac{\Phi}{C},$$

K_{ϕ} – коефіцієнт чутливості;

Φ – фертильний пилок, %;

C – стерильний пилок, % [144].

Життєздатність пилку досліджували методом Д. А. Транковського. Пилок пророщували в чашках Петрі з фільтрувальним папером, змоченим дистильованою водою. На предметне скельце наносили штучне живильне

середовище виготовлене з 1% агар-агару та 20%-го розчину сахарози, на нього висівали пилок. Скельця переносили у вологі камери. Чашки Петрі поміщали в термостат при температурі 25 °С [226]. На наступний день підраховували кількість пророслих пилкових зерен із 1000 шт. у кожному насадженні з різних місць відбору пилку.

Розміри пилкових зерен (по 500 шт. у двох проєкціях) і довжину пилкових трубок (по 100 шт. з насадження) вимірювали на цифрових знімках у програмі AxioVision 4.8.2.0. (06-2010).

Насіннєву продуктивність визначали способом підрахунку кількості насінин та лусок у 50 маточкових сержках з кожного дослідженого насадження.

Посівні якості насіння визначали за різними методиками. Відбір насіння здійснювали згідно загальноприйнятих правил:

- зібране у рослин одного походження, однієї вікової групи, в однорідних умовах місцезростання, на схилі однієї експозиції, на однаковій висоті над рівнем моря;
- подібне за лісівничою цінністю – нормальне;
- однакове за часом та способом збору;
- подібне за кольором, блиском, запахом, ступенем вологості та пошкодженості;
- зберігалось в однакових умовах.

Однорідне насіння висипали на гладку поверхню, ретельно перемішували, розрівнювали і відбирали руками мінімум п'ять виїмок з різних місць та об'єднували, утворюючи вихідний зразок, з якого виділяли середній за допомогою хрестоподібного поділу. Для цього, насіння вихідного зразка висипали на гладку поверхню, перемішували і розрівнювали у вигляді квадрата товщиною до 3 см і розділяли на 4 трикутника по діагоналі. Насіння із двох протилежних трикутників видаляли, інші два, які залишилися, об'єднували для подальшого розподілу. Хрестоподібний поділ продовжували

до тих пір, доки не залишиться необхідна кількість насіння для отримання середнього зразка встановленої маси [22].

Чистоту насіння встановлювали згідно з Державним стандартом 13056.2-89 [78]. Для цього з середнього зразка відбирали та зважували 1 г насіння. Потім наважку насіння висипали на гладку поверхню, розрівнювали і виділяли:

- 1) чисте насіння;
- 2) відходи (проросле, маленьке, пусте, пошкоджене насіння);
- 3) домішки (насіння інших видів рослин, шкідники, їх личинки та лялечки, залишки насіння тощо).

Після розбору наважки окремо зважували три фракції: чисте насіння, відходи, домішки з похибкою не більше 0,01 г. Після зважування масу всіх фракцій підсумовували. Відсоток чистоти насіння встановлювали лише тоді, коли сума результатів зважування окремих фракцій дорівнювала першій масі наважки або фактичне відхилення становило при масі наважок не більше 0,02 г. Отримане чисте насіння зсипали в окремий пакет, яке потім використовували в подальших дослідженнях, а відходи і домішки видаляли.

Масу 1000 насінин визначали відповідно до Державного стандарту 13056.2 – 67 [77]. Після ретельного перемішування насіння, відраховували 2 проби по 500 насінин у кожній та окремо їх зважували, похибка між пробами не перевищувала 0,01 г. При визначенні маси 1000 насінин розходження в масі 2-х проб була не більше ніж 5%.

Доброякісність насіння визначали за методом С. Г. Навашина. Кожну пробу насіння *V. pendula* поміщали в спирт на 24 год., додавши туди такий же об'єм гліцерину. Через добу насіння ставало прозорим, його розглядали через лупу. У повнозернистих плодів насіннева брунька заповнювала всю порожнину насінини, у порожніх – по центру чітко була виражена коричнева перетинка вздовж плоду, а з двох сторін – дві незапліднені насінневі бруньки. Доброякісність насіння обчислювали як середнє арифметичне результатів обліку проб насіння і виражали у відсотках [65, 80].

Схожість насіння досліджували згідно з Державним стандартом 13056.6-97 [79]. Для проведення аналізу з чистого насіння досліджуваного виду відбирали підряд 3 проби по 100 насінин у кожній. У чашках Петрі на вологому фільтрувальному папері розкладали насіння по 100, 50, 25 штук і менше для пророщування в залежності від розміру, не допускаючи їх зіткнення. Кожну пробу насіння нумерували, проставляючи на чашці Петрі олівцем порядковий номер, проби залишали при кімнатній температурі 23–25 °С. Наступний після дня розкладки вважали першим днем пророщування, а останній день обліку схожості насіння – закінченням пророщування. У ході проведення дослідження постійно підтримували необхідну температуру води, перевіряли зволоженість насіння. Схожість та енергію проростання обчислювали як середнє арифметичне результатів пророщування окремих проб насіння і виражали у відсотках. При визначенні схожості насіння розбіжність між результатами пророщування їх окремих проб була не більше табличного значення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Допустимі розбіжності між показниками при пророщуванні насіння згідно з Державним стандартом 13056.6-97 [79]

Середнє арифметичне значення схожості насіння	Допустиме розходження між результатами за трьома пробами	Середнє арифметичне значення схожості насіння	Допустиме розходження між результатами за трьома пробами
99; 2	4	81–83; 18–20	14
98; 3	5	78–80; 21–23	15
97; 4	6	77; 24	15
96; 5	7	73–76; 25–28	16
95; 6	8	71–72; 29–30	16
93–94; 7–8	9	67–70; 31–34	17
91–92; 9–10	10	64–66; 35–37	17
89–90; 11–12	11	56–64; 38–45	18
87–88; 13–14	12	51–55; 46–50	18
84–86; 15–17	13		

Енергію проростання (Еп) обчислювали за формулою:

$$E_p = (n^{1/2}/N) * 100\%$$

де $n^{1/2}$ – кількість насіння, яке проросло за половину періоду пророщування;

N – кількість насінин, взятих для аналізу [79].

Статистичну обробку експериментального матеріалу здійснювали за допомогою стандартних методів варіаційної статистики з використанням пакета прикладних комп'ютерних програм MS Excel, достовірність відмінностей визначали за t-критерієм Стьюдента [124].

РОЗДІЛ 3

ЖИТТЄВИЙ СТАН, БІОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЕРЕВ ТА МОРФО-АНАТОМІЧНА Й ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТКА *BETULA PENDULA* ROTH В УМОВАХ М. КРИВИЙ РІГ

3.1. Характеристика зовнішніх ознак дерев *Betula pendula* у насадженнях Кривого Рогу залежно від рівня аеротехногенного забруднення

3.1.1. Життєвий стан насаджень *B. pendula*

Атмосферне забруднення негативно позначається на стані деревних рослин, що призводить до поступового зниження їхньої стійкості до антропогенних і природних впливів, біосферних і санітарно-гігієнічних функцій, тривалості життя окремих дерев і насаджень у цілому [177]. Так, наприклад, аналізуючи загальний рівень життєвого стану *B. pendula* з різних зон забруднення О. В. Шамраєв зі співавт. [307] дійшов висновку, що в умовах підвищеного техногенного навантаження (на промислових відвалах м. Кумертау) загальний стан у дерев помітно знижується порівняно з деревами, які зростають у кращих умовах (у Троїцькому заказнику Оренбурзької області).

Основними діагностичними ознаками, які характеризують життєвий стан окремого дерева є ступінь розвитку крони та відсоток пошкодження листків [7]. За даними Л. С. Аралбаєвої та ін. [13], у зонах низького і середнього рівня забруднення дерева *B. pendula* мають нормально розвинену крону (щільність крони 70–100% від норми) та листки темно-зеленого забарвлення, а в зоні високого – більш розріджену крону (60–80% від норми) та світло-зелені листки з хлорозами, переважно міжжилкового типу. У техногенних умовах середовища у дерев спостерігається суховерхість, у кронах з'являються сухі гілки, відзначаються випадки їх повного відмирання. І чим вищий рівень забруднення, тим більш явно виражені ці негативні наслідки.

У Кривому Розі з його високим рівнем техногенного навантаження, проте не однаковим у різних частинах цього великого промислового міста степової зони, встановлено суттєве зниження життєвого стану *B. pendula* з підвищенням рівня антропогенного забруднення (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Розподіл дерев *Betula pendula* Roth за рівнем життєвого стану умовах м. Кривий Ріг (% від загальної кількості рослин на дослідній ділянці)

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Життєвий стан (бал)					
		1	2	3	4	5а	5б
Незначний	1 (к)	96,7	3,3	-	-	-	-
	2	93,3	6,7	-	-	-	-
	3	90,0	10,0	-	-	-	-
Помірний	4	80,0	10,0	10,0	-	-	-
	5	76,7	16,6	6,7	-	-	-
	6	63,3	23,4	13,3	-	-	-
Високий	7	40,0	33,3	26,7	-	-	-
	8	36,7	30,0	33,3	-	-	-

У ході досліджень найвищий рівень життєвого стану за показниками крони відмічено у контролі (дослідна ділянка №1 – дендрарій КБС НАН України), де кількість здорових дерев (бал 1) становила 96,7%. На ділянках №2 і №3, що знаходяться у зонах з незначним рівнем забруднення (сквер «Поляна казок» і парк Героїв АТО), їхня частка в середньому зменшилася на 5,2%, ніж у контрольному насадженні, у зоні помірного рівня аеротехногенного впливу (д. д. №4–6) – на 24,2%, а у рослин, що зростають у зоні високого рівня забруднення (д. д. №7, 8) – на 60,3%. Найменше дерев без явних ознак пригнічення виявлено на дослідній ділянці №8, де рослини зазнають впливу шкідливих речовин металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що 62% нижче, тобто у 2,6 раза порівняно з контролем (д. д. № 1) [166, 231].

На усіх дослідних ділянках виявлені дерева з сухою верхівкою крони, кількість яких істотно змінювалася у різних місцях зростання від 3,3% (д. д. №1) до 36,7% (д. д. №8). Деревя мали різний ступінь пошкодження крони,

тому за шкалою В. А. Алексєєва оцінені як «пошкоджені» (бал 2) та «дуже пошкоджені» (бал 3). Частка «пошкоджених» рослин варіювала від 3,3% до 33,3% у восьми місцезростаннях, тоді як «дуже пошкоджених», які спостерігались лише на дослідних ділянках №4–8, що зазнають впливу вихлопних газів та шкідливих викидів комбінатів, змінювалась у межах 6,7–33,3%, істотно збільшуючись в умовах високого рівня забруднення. Загальна кількість дерев із суховерхістю у насадженнях, що знаходяться на територіях з незначним рівнем забруднення (д. д. №2 і №3) становила в середньому 6,7%, при помірному рівні забруднення (д. д. №4–6) – 26,7%, а при високому (д. д. 7 і 8) досягала 61,7%.

Крім того, з підвищенням рівня аеротехногенного навантаження у дерев збільшувалась суха частина крони: у дендрарії КБС, сквері «Поляна казок» та парку Героїв АТО (д. д. №1–3) не перевищувала 0,5 м, у придорожніх насадженнях (д. д. № 4–6) збільшувалась до 2 м, а біля комбінатів гірничо-металургійного комплексу (д. д. № 7–8) – до 4 м (Додаток А1, А2) [166, 231].

За розрахунком індексів стану насаджень [6] було виявлено їхній відносний життєвий стан (ВЖС) у восьми місцях зростання *V. pendula* в м. Кривий Ріг, який у ході дослідження поступово зменшувався з 99% (д. д. №1 – контроль) до 71% (д. д. №8) з погіршенням умов середовища. За показником ВЖС шість насаджень (д. д. №1–6) з восьми досліджених, які зростають при незначному (99–97%) та помірному рівнях забруднення (91–85%), оцінені як «здорові»; останні два, що зазнають впливу шкідливих викидів комбінатів і спричиняють найбільший негативний вплив на навколишнє середовище (д. д. №7 і №8), відносяться до категорії «пошкоджені» [166, 231].

Таким чином, встановлено зменшення кількості здорових дерев *V. pendula* від 96,7% у дендрарії КБС (д. д. №1) до 36,7% біля металургійного комбінату (д. д. №8), а також відносного життєвого стану насаджень у різних

місцях зростання, що відображає ступінь та інтенсивність впливу аерополітантів на рослини в урботехногенному середовищі Кривого Рогу.

3.1.2. Біометричні параметри дерев *B. pendula*

Для оцінки інтенсивності росту деревних рослин використовується ряд біометричних показників, зокрема розміри стовбурів і крон дерев [171, 173]. За змінами цих характеристик дерев у просторі і часі можна здійснити прогноз динаміки їхнього стану в урботехногенному середовищі [1, 470, 486]. Так, при дослідженні біометричних параметрів дерев *B. pendula* у різних насадженнях Кривого Рогу встановлено значні відмінності чотирьох показників у залежності від аеротехногенного впливу (табл. 3.2). На дослідних ділянках №2 і №3 висота дерев та діаметр стовбура на рівні 1,3 м складала 16,3–16,4 м та 26,0–26,3 см відповідно та були менше в середньому на 4,9% та 7,6% порівняно з контролем (д. д. №1). Значно нижчі показники виявлені у насаджень, які зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту (д. д. №4–6) та шкідливих викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу (д. д. №7 і №8), що були відповідно на 19,6% і 13,0%, а також на 28,8% і 20,8% менше, ніж у ботанічному саду (д. д. №1). Найменші розміри при цьому порівняно з іншими дослідними ділянками *B. pendula* відмічені у дерев, що ростуть біля металургійного комбінату (д. д. №8), середня висота дерев та діаметр стовбура яких були на 30,8% та 26,1% менші, ніж у дендрарії КБС (д. д. №1). Подібні зміни відмічені й при дослідженні параметрів крони, де відмінності показників її проєкції та об'єму на різних дослідних ділянках відносно контролю досягали 57,4% та 75,7%, тобто у 2,3 та 4,1 раза відповідно [166, 228, 231].

Отже, результати досліджень показали суттєвий негативний вплив вихлопних газів автотранспорту та викидів комбінатів на біометричні параметри дерев *B. pendula*, що супроводжується їхнім зменшенням з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення.

При дослідженні біометричних характеристик дерев у насадженнях доцільно враховувати щільність посадок, оскільки з її підвищенням рівень освітленості дерев зменшується. Так, Д. Кравчинський [172] зазначав, що у берези 42-річного віку, яка зростала у зімкненому насадженні, відсоток поточного приросту за 12 років був у 2,3 раза менше, ніж у прорідженому.

Таблиця 3.2

Біометричні параметри дерев *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Рівень аеротехнологічного забруднення	Дослідні ділянки	Висота дерева (h), м	Діаметр стовбура на рівні 1,3 м (D), см	Площа проєкції крони (S), м ²	Об'єм крони (V), м ³
Незначний	1(к)	17,2±0,37	28,3±1,02	43,9±5,90	319,7±43,69
	2	16,4±0,15	26,3±0,34	42,2±2,43	229,5±15,99
	3	16,3±0,23	26,0±0,76	30,7±3,21	155,3±15,83*
Помірний	4	13,2±0,27*	25,8±0,47*	23,1±4,21*	102,7±21,83*
	5	15,6±0,25*	24,1±1,01*	27,8±3,22*	149,1±20,82*
	6	12,7±0,19*	24,0±0,62*	31,1±1,9*	141,8±10,05*
Високий	7	12,6±0,39*	23,9±0,98*	21,6±2,74*	86,6±11,66*
	8	11,9±0,25*	20,9±0,73*	18,7±2,2*	77,8±9,35*

Примітка: дані достовірні * при $P < 0,05$.

Недостатня освітленість у густих березових насадженнях для частини дерев призвела не тільки до зниження приросту, а й швидкого відмирання окремих дерев. Тому, для збереження життєздатності та стійкості особин у щільних групових посадках у *B. pendula* виникає необхідність щорічно «скидати» частину затінених гілок переважно з нижньої частини крони [290]. Нерівномірність росту і розвитку дерев *B. pendula* виявлені при дослідженні 16 куртинних насаджень *B. pendula* у Покровському районі Кривого Рогу площею від 21 до 200 м², що знаходяться на відстані від 4 до 8 м від автомагістральних шляхів та відрізняються між собою за кількістю дерев (від 10 до 19 шт.). Середній вік деревних особин у різних куртинах коливався від 23 до 35 років, відстань між деревами варіювала від 0,5 до 5 м (табл. 3.3).

Висота дерев та діаметр стовбура на рівні 1,3 м у різних куртинах відрізнялися та варіювали в межах 9,2–17,3 м та 8,9–27,7 см відповідно.

Найменшими середніми біометричними характеристиками відзначались дерева куртини №1, які є наймолодшими за віком серед усіх інших. Найвищі показники при цьому відмічені у дерев куртини №16, вік яких на період досліджень складав 35 р., та які були приблизно в 2 і 3 рази більшими відповідно, ніж у 23-річних дерев куртини №1. Збільшення біометричних параметрів дерев з віком з 23 до 35 років свідчить про те, що в умовах Кривого Рогу *B. pendula* відзначається активним ростом у цей період онтогенезу [166, 228, 231].

Таблиця 3.3

Біометричні параметри *Betula pendula* Roth у куртинних насадженнях біля автомобільних шляхів у Покровському районі м. Кривий Ріг

№ куртини	Вік дерев	К-сть дерев	Розміри куртини, м ²	Схема розміщення дерев, min×max, м	Відстань від дороги, м	Висота дерев (h), м		Діаметр стовбура (D _{1,3}), см
						M	m	
1	23	10	5×10	1/5	4	9,2±0,8	8,9±0,7	
2	24	13	5×15	1/4	5	11,4±0,5	16,2±1,5	
3	24	13	10×5	1/3	6	13,7±0,7	16,6±1,3	
4	26	10	4×7	1/2	4	14,3±0,9	18,4±1,9	
5	26	15	5×10	1/3	4,5	14,5±0,5	21,4±1,1	
6	26	18	8×15	0,5/3	4,5	14,4±0,6	18,8±1,4	
7	27	11	5×5	0,5/3	7	15,0±0,7	19,7±1,4	
8	27	12	7×5	0,5/3	4	14,2±0,7	22,6±2,2	
9	28	11	3×7	0,5/4	5	16,2±1,1	22,2±1,9	
10	28	19	20×6	1/2	4	17,3±0,7	21,7±1,4	
11	28	11	5×10	1,5/4	5	15,3±0,8	24,5±1,9	
12	30	10	5×5	1/4	6	15,4±1,0	24,0±2,0	
13	32	10	8×5	0,5/2	6	16,0±0,8	24,4±2,0	
14	34	10	5×9	1/2,5	4	16,1±1,3	26,4±1,4	
15	34	19	20×10	1/3	5	16,3±1,4	26,5±1,7	
16	35	10	3×10	1,5/2	8	17,1±0,8	27,7±2,1	

У дерев, які ростуть зовні куртин *B. pendula*, висота та діаметр стовбура відрізнялися від тих рослин, що знаходяться всередині насадження (табл. 3.4). Відмінності висоти периферійних дерев та тими, що ростуть у центральній частині куртини досягали 16,0–36,6%, а діаметр стовбура – від 20,1% до 46,6%. Зменшення біометричних характеристик дерев у

центральної частині куртини є свідченням того, що недостатня відстань між деревними особинами при їх посадці призводить з віком до загушення, і відповідно до пригнічення через затінення і дефіцит сонячної енергії. Це супроводжується зниженням їхньої декоративності. Тому важливою при висадці рослин є витримка певної відстані між деревами, яка в умовах Кривого Рогу повинна бути не менше 5 м. Деякі автори зазначають, що ефективною є посадка рослин у шаховому порядку [48, 53, 211].

Таблиця 3.4

Біометричні параметри дерев *Betula pendula* зовні та всередині куртини в умовах м. Кривий Ріг

№ куртини	Вік	Дерева зовні куртин, при P<0,05			Дерева всередині куртин, при P<0,05		
		К-сть дерев	h, м	D, см	К-сть дерев	h, м	D, см
			M±m			M±m	
1	23	5	11,2±0,4	10,4±1,0	5	7,1±0,8*	7,4±0,5*
2	24	9	12,9±0,5	17,7±1,8	4	9,9±1,0*	12,9±0,7*
3	24	8	14,9±0,4	18,9±1,3	5	11,6±1,3*	13,1±1,9*
4	26	7	15,4±0,9	21,0±1,7	3	10,0±1,9*	12,0±1,4*
5	26	11	15,4±0,4	22,9±1,2	4	12,3±1,0*	17,5±0,6*
6	26	12	15,6±0,5	20,9±1,6	6	12,0±0,6*	14,5±1,8*
7	27	8	16,1±0,5	20,9±1,8	3	12,0±0,7*	16,7±0,4*
8	27	8	15,4±0,6	26,8±1,8	4	11,8±1,0*	14,3±1,7*
9	28	7	17,7±1,4	26,3±0,9	4	13,5±0,8*	15,0±1,1*
10	28	14	18,7±0,4	23,5±1,5	5	13,8±1,2*	17,3±2,1*
11	28	6	17,3±0,5	27,8±2,2	5	12,9±0,6*	20,4±2,2*
12	30	7	17,1±0,6	27,0±1,7	3	11,3±0,9*	17,0±1,2*
13	32	6	17,5±0,5	29,0±0,6	4	14,7±1,0*	16,5±1,5*
14	34	6	18,6±0,6	28,8±1,6	4	12,3±1,6*	22,7±0,6*
15	34	12	18,7±1,3	29,3±1,9	7	12,1±2,6*	21,7±2,6*
16	35	6	18,5±0,5	31,5±1,8	4	14,8±1,3*	22,0±2,5*

Таким чином, можна констатувати, що спосіб розміщення *B. pendula* в куртинах на території Кривого Рогу сприяє активному росту і розвитку дерев до того часу, поки відсутня конкуренція рослин за поживні речовини та наявний достатній рівень освітленості дерев. Висока загущеність посадок призводить до зменшення біометричних дерев, що ростуть усередині куртини порівняно з периферійними.

3.2. Морфо-анатомічні та фізіологічні показники асиміляційного апарату *Betula pendula*

Листок – важливий вегетативний орган рослин, який виконує функції фотосинтезу, газообміну й транспірації [11, 40] та є одним із найбільш чутливих до впливу антропогенного фактору середовища [491]. Листки рослин, особливо деревних, виступають в якості фільтрів оточуючого повітря, поглинаючи аерозолі та шкідливі гази, які викидаються в атмосферу автотранспортом та промисловими підприємствами, на листках осідає пил, сажа та інші мілкодисперсні частки [73, 266, 400, 429, 452, 490]. Зміни морфо-анатомічної будови листків та їх фізіоло-біохімічних показників під впливом забруднювачів повітря використовують у ролі біомаркерів стану навколишнього середовища в урботехногенних умовах [141, 211, 471, 438, 388].

3.2.1. Морфометричні параметри листка

Вплив забруднення повітря на рослини може призводити до зміни морфології та зменшення площі листків, розвитку хлорозу та некрозу листкових пластинок [26, 388], а тому ці показники використовують для оцінки рівня техногенного навантаження навколишнього середовища на рослини [335, 380]. В умовах промислового забруднення у *B. pendula* спостерігається, як правило, пригнічення росту, що, як наслідок, розміру листків, зміна їхньої форми. Це є загальними симптомами погіршення їхнього стану [470]. Дж. У. Меннінг [208] вважав, що пригнічення росту асиміляційного апарату прямо залежить від ступеня загазованості повітря, де з підвищенням його рівня будуть зменшуватися морфометричні показники листків.

Розміри листка *B. pendula* з восьми різних місць зростання у м. Кривий Ріг установлювали за трьома параметрами: довжина черешка, довжина та ширина листкової пластинки. Аналіз результатів досліджень показав варіювання показників від 23,1 до 19,8 мм – довжини черешка, від 56,2 до

51,5 мм – довжини листкової пластинки, від 49,3 до 43,0 мм – її ширини, що поступово зменшувалися з підвищення рівня аеротехногенного впливу (рис. 3.1).

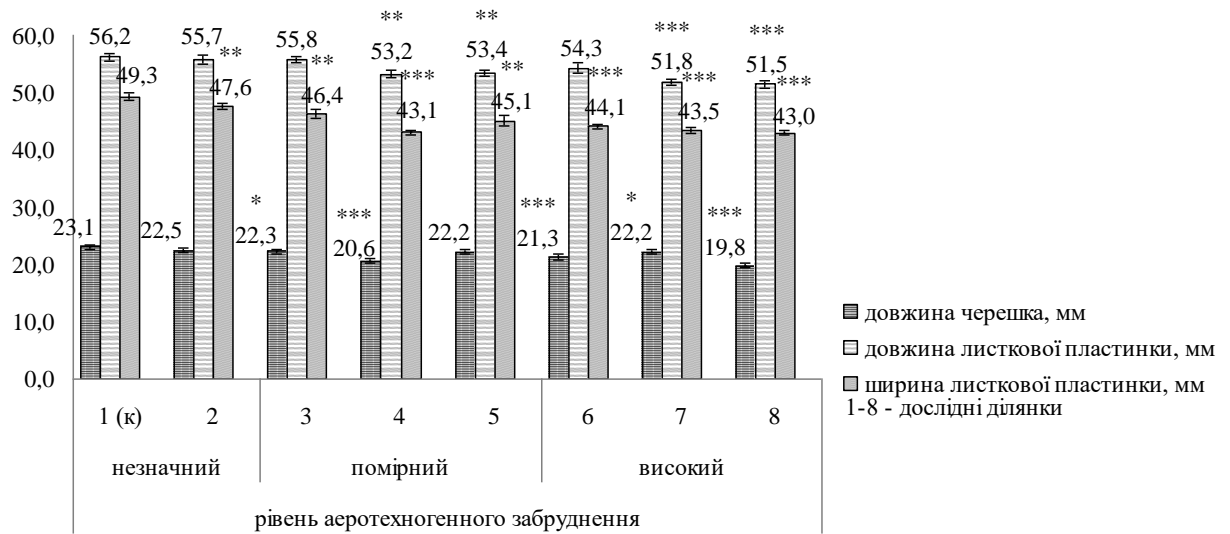


Рис. 3.1. Морфометричні параметри листка *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Мінімальні значення за всіма дослідженими параметрами виявлені у рослин, що ростуть біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8), які були нижче відносно контролю (д. д. №1) на 14,3%, 8,4% та 12,8% відповідно. При цьому, ширина листкової пластинки є більш чутливою, ніж її довжина, оскільки значення достовірні за t-критерієм Стюдента в семи насадженнях (д. д. №2–8) порівняно з контролем (д. д. 1) на рівні 99% [167, 169, 228, 229, 230, 443]. Зменшення розмірів листка є відповідною реакцією на посилення аеротехногенного пресу на рослини [305], причиною якого є гальмування стадії розтягування клітин [7].

На семи дослідних ділянках (№2–8) було встановлено збільшення співвідношення довжини листкової пластинки до її ширини (Д/Ш) порівняно з контролем (1,14) – 1,17–1,30 (рис. 3.2). На чотирьох дослідних ділянках №2, №3, №5, №7 (у сквері «Поляна казок», у парку Героїв АТО, по вул. Електрозаводська та біля ПрАТ «ПівнГЗК») відмінності досягали лише до

5,3%; у рослин, що зростають по вул. Черкасова та просп. Металургів (д. д. №4 і №6) відношення Д/Ш було вищим на 7,9%, а біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8) – на 14,0%. Якщо проаналізувати дані по адміністративним районам міста, то найбільші показники відмічені у рослин переважно в Металургійному відносно інших насаджень, що зростають в умовах того ж рівня забруднення. Максимально високий показник співвідношення Д/Ш спостерігався у рослин на дослідній ділянці №8, що був вище на 5,7–14,0%, ніж у інших місцях зростання *B. pendula* [169].

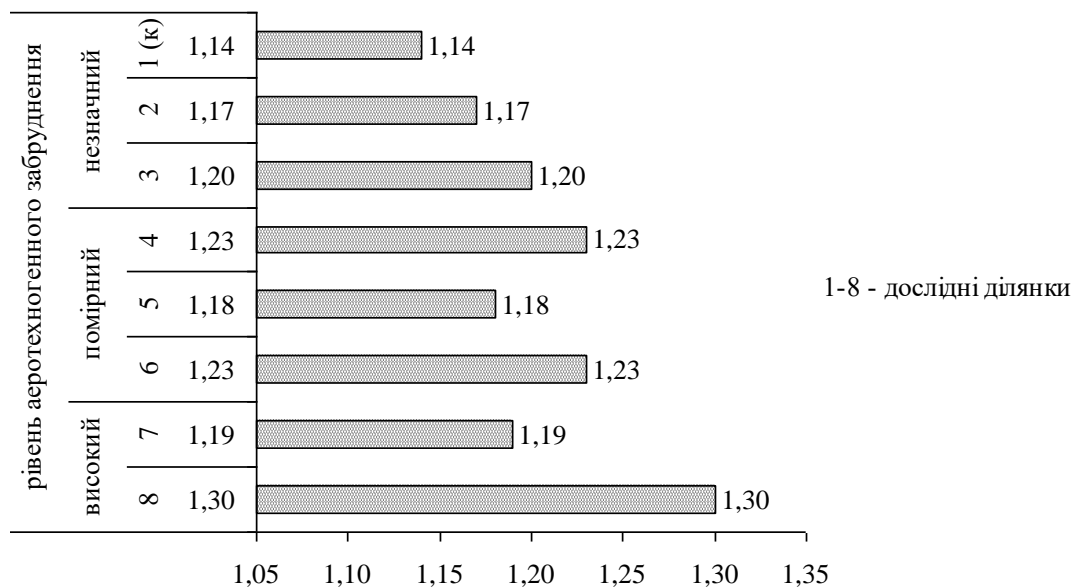


Рис. 3.2. Відношення довжини листкової пластинки *Betula pendula* Roth до її ширини в умовах м. Кривий Ріг

Відмінності показників співвідношення Д/Ш у листків *B. pendula*, з різних місць зростання відображають ступінь впливу викидів комбінатів та вихлопних газів автотранспорту. Очевидно, що рівень забруднення повітря призводить до збільшення співвідношення довжини до ширини листкової пластинки рослин, проте воно є не єдиним фактором, який впливає на цей показник. На дослідних ділянках, розташованих у Металургійному районі, відмічено значне підвищення цього параметру порівняно з іншими, які зазнають приблизно того самого рівня забруднення, проте знаходяться в інших районах міста. Металургійний район відрізняється за екологічними

показниками, як то температура, менша кількість атмосферних опадів, що спричиняє більш суттєву зміну розмірів листкової пластинки *B. pendula*, і як результат, її форми.

Отже, морфологічні параметри листків *B. pendula* відображають вплив аерополлютантів на рослини, який проявляється у зменшенні розмірів листкової пластинки та підвищенні співвідношення довжини до її ширини. Останній параметр, як правило, може залежати й від клімату.

3.2.2. Флуктуюча асиметрія листкової пластинки

Листкова пластинка рослин із білатерально-симетричною структурою в оптимальних умовах середовища має чітко виражену симетрію або виявляє незначні відхилення від неї, що є проявом стабільності гомеостазу її розвитку [128, 293]. Погіршення умов росту й розвитку рослин призводить до появи істотних морфологічних відхилень (фенодевіантів), які можуть бути оцінені за величиною показників флуктуючої асиметрії (ФА) листків. Рівень таких морфологічних відхилень від норми виявляється мінімальним лише за певних умов, які можуть розглядатися як оптимальні, і неспецифічно зростає за будь-яких стресових впливів [128]. Техногенне забруднення є одним із екстремальних факторів, що порушує внутрішні регуляторні механізми, які відповідають за стабільність розвитку організму, і це призводить до збільшення рівня флуктуючої асиметрії листків [52, 293, 421, 425]. Вважається, що чим сильніші зовнішні впливи, тим виразніше проявляється ФА [161]. Для дослідження рівня флуктуючої асиметрії В. М. Захаров зі співавт. [128] виділив 5 головних ознак, які вимірюють з правого і лівого боків листкової пластинки, а величина відмінностей між якими характеризує ступінь порушення симетрії (див. рис. 2.3).

На основі промірів, здійснених на 100 листках 10 дерев *B. pendula* на восьми дослідних ділянках у Кривому Розі встановлено, що п'ять ознак мають різну чутливість до рівня аеротехногенного забруднення. Найбільш стабільною є ознака №2 (довжина другої від основи листка жилки другого

порядку), значення якої становило 0,024 (рис. 3.3). Найвища розбіжність виявлена між показниками ознаки №3 – відстань між основою першої і другої жилок другого порядку – 0,133, яка є найчутливішою серед п'яти досліджених параметрів [169, 228, 231, 233].

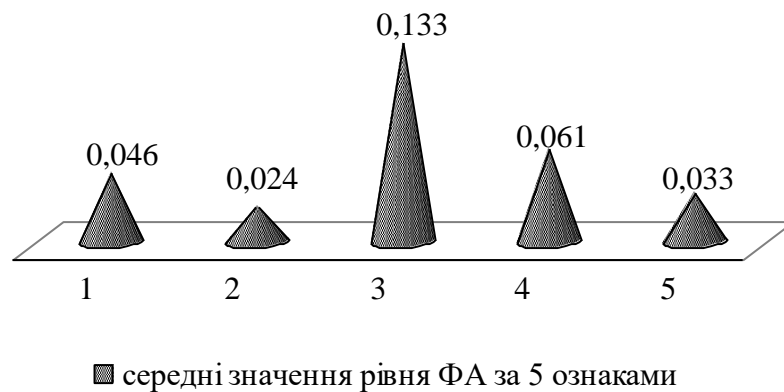


Рис. 3.3. Рівень чутливості морфологічних ознак листкової пластинки *Betula pendula* Roth до стресового впливу в умовах м. Кривий Ріг

Подібні результати були отримані П. О. Феклістовим та І. Б. Амосовою [193], які виявили, що ознака №2 є найбільш стійкою – 0,036. Дуже близькими були значення ознаки №1: за даними цих авторів, 0,041 – асиметрія між двома сторонами за шириною листкової пластинки. Проміжне становище займали показники ознак №3 та №4, які дорівнювали 0,089 та 0,073, тобто були нижчими на 33,1% та вищими на 19,7% відповідно до значень, отриманих у ході наших досліджень. Максимальні значення у роботі П. О. Феклістова та І. Б. Амосової [193], а також у наших дослідженнях, виявлені за ознакою №3.

За рівнем чутливості окремих ознак асиметрії листків *B. pendula* до рівня забруднення всі 5 параметрів можна розмістити у наступній послідовності від найбільш стабільного до найлабільнішого: 2>5>1>4>3.

Загальний показник флюктуючої асиметрії листкової пластинки *B. pendula* у різних місцях зростання істотно відрізнявся (рис. 3.4). Найменші порушення симетрії між лівою та правою сторонами листка зафіксовані у рослин, що ростуть у зонах із незначним рівнем забруднення (д. д. №1–3 – до

0,024). У насадженнях, що зазнають негативного впливу вихлопних газів автотранспорту (д. д. №1–3), цей показник значно підвищився та варіював у межах 0,058–0,076, що в середньому у 4 рази більше за контроль. Максимальні значення рівня ФА виявлені у рослин, що зростають біля гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів (д. д. №7 і №8) і були вище, ніж у дерев КБС НАН України (д. д. №1) в середньому у 5,4 раза [233].

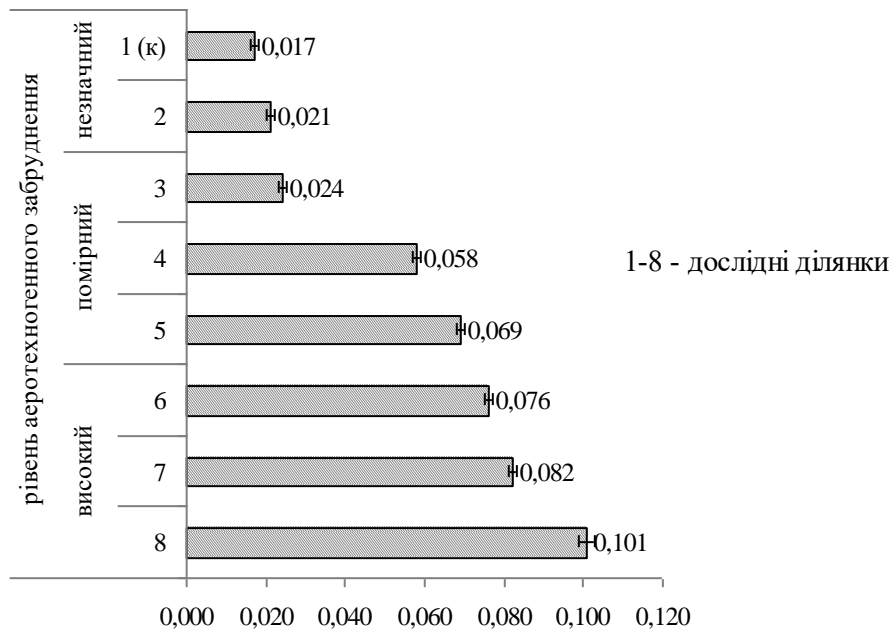


Рис. 3.4. Рівень флуктуючої асиметрії листкових пластинок *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

За величиною інтегрального показника та шкалою оцінки відхилень стану організму визначено ступінь порушення стабільності розвитку рослин *B. pendula*, що зазнають впливу різного рівня аеротехногенного забруднення. Так, наприклад, інтегральний показник у рослин дендрарію КБС (контроль), парку Героїв АТО та у сквері «Поляна казок» (д. д. №1–3) відповідає балу 1 стандартної шкали та відображає сприятливі умови зростання для цього виду. Решта дослідних ділянок – №4–8 – оцінені у 5 балів і характеризують «критичний» стан середовища, що свідчить про несприятливий вплив вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів комбінатів на *B. pendula* [233].

Отже, дослідження рівня ФА у листків *B. pendula* свідчать, що найчутливішою ознакою до впливу урботехногенного середовища є відстань між основами першої та другої жилки другого порядку (0,123). Виявлено пряму залежність збільшення рівня флюктуючої асиметрії з підвищенням техногенного пресу від 0,017 до 0,101. Встановлено, що найсприятливішими умовами для зростання *B. pendula* є території з незначним рівнем забруднення, а у зонах з помірним та високим рівнями забруднення за показниками ФА є вкрай несприятливими.

3.2.3. «Зігнутість» верхівки листка як діагностичний показник рівня техногенного навантаження

За даними І. Франіель і К. Вієскі [373] надійним показником, що відображає вплив аерополютантів на деревні рослини є «зігнутість» верхівки листка, що розглядають як один із найважливіших при оцінці міжполюсної мінливості листової пластинки (рис. 3.5). Результати досліджень свідчать, що кількість листків із цією ознакою в *B. pendula* суттєво збільшувалася у насадженнях Кривого Рогу у рослин, що зазнають дії вихлопних газів автотранспорту та викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу.

Із 100 досліджених листків на кожній ділянці найменшу кількість із зігнутою верхівкою виявлено у зонах з незначним рівнем забруднення (д. д. №1–3), яка не перевищувала 7 шт., з яких найменше їх було у КБС (д. д. №1) – 5 шт. Проміжні показники зафіксовані на ділянках в умовах помірного рівня забруднення (д. д. №4–6), де кількість листків із цією ознакою варіювала на різних ділянках від 19 до 24 шт., що в середньому у 4,3 раза більше порівняно з контролем (д. д. №1). У дерев, що ростуть у зоні високого аеротехногенного забруднення (д. д. №8–9) таких листків переважало 30 шт., і в середньому їх було більше у 7,3 раза, ніж у контрольному насадженні (д. д. №1). Загалом «зігнутість» верхівки листка підтвердила значення флюктуючої асиметрії, як діагностичного показника впливу техногенного навантаження на рослини *B. pendula* [169, 233].

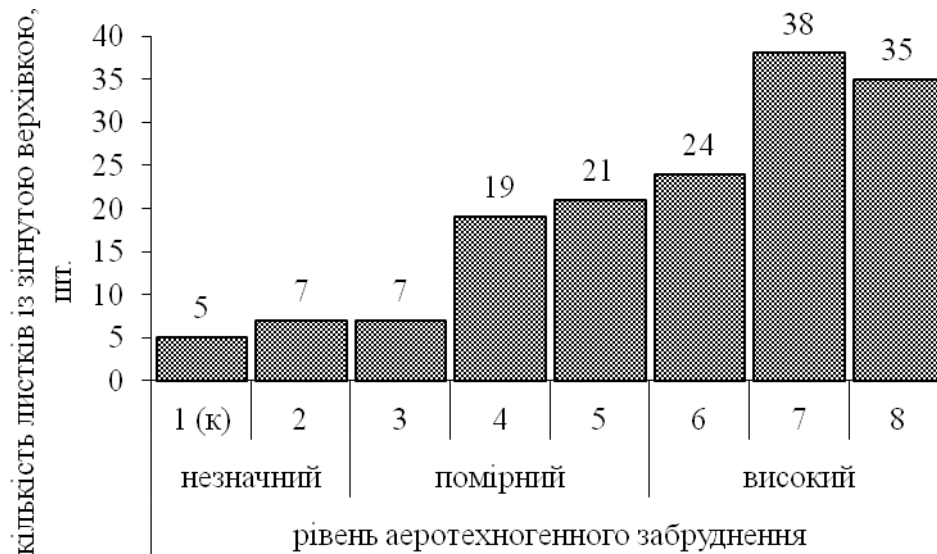


Рис. 3.5. Кількість листків *Betula pendula* Roth із зігнутою верхівкою листкової пластинки в умовах м. Кривий Ріг, шт.

Загалом, у рослин трьох насаджень, що підпадають під вплив шкідливих речовин з незначною концентрацією їх у атмосфері виявлено 19 листків із зігнутою верхівкою, у зонах помірного та високого рівня аеротехногенного забруднення – 64 шт. (на 300) та 73 шт. (на 200) відповідно [169, 233].

Таким чином, отримані дані свідчать про те, що «зігнутість» верхівки листка – досить чутливий показник до ступеня впливу аерополютантів, який можна вважати додатковим діагностичним параметром при оцінці стану навколишнього середовища.

3.2.4. Анатомічна структура листкової пластинки

Листок, що має найбільший контакт з середовищем [9], чутливо реагує на стресові впливи змінами в анатомічній будові, а за їх характером можливо оцінити особливості дії аерополютантів й ступінь адаптованості рослин в урботехногенному середовищі [91].

Результати анатомічних досліджень свідчать, що листкова пластинка *B. pendula* складається з двох тканин – верхнього та нижнього епідермісу, які утворені з одного шару клітин, а між ними розташований мезофіл, що, у свою чергу, поділяється на палисадну та губчасту паренхіми. Палисадна паренхіма наявна лише з адаксіальної сторони листка, тому мезофіл відноситься до дорзовентрального типу. Клітини палисадної тканини витягнуто-циліндричні та щільно прилягають одна до одної. Губчаста паренхіма складається з клітин неправильної форми й великої кількості міжклітинників. Вона представлена 4–6 шарами пухко розміщених клітин, що мають хлоропласти, які беруть участь у процесі фотосинтезу (рис. 3.6).

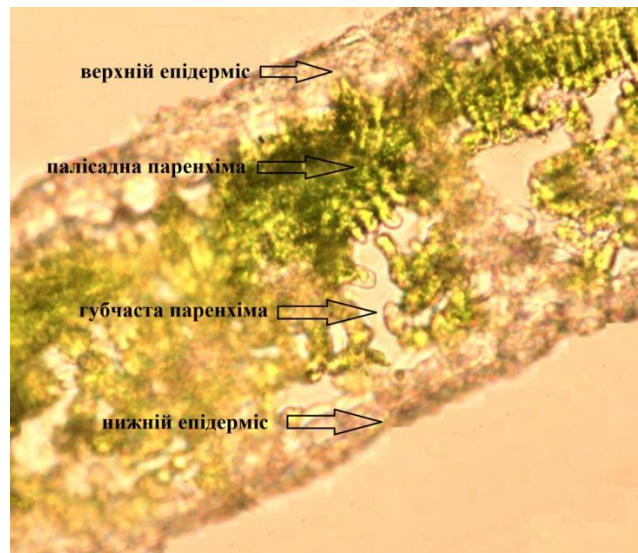


Рис. 3.6. Анатомічна структура листкової пластинки *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

У Кривому Розі з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення встановлено поступове збільшення товщини листка *B. pendula* та його тканин залежно від місцезростання рослин (табл. 3.5). У дерев на дослідних ділянках №1–7 товщина листкової пластинки не перевищувала 200 мкм, тому листок, за класифікацією Б. Р. Васильєва [50], характеризується як тонкий. Винятком були рослини, що ростуть біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8), де розміри листка досягли 208 мкм та є середніми за товщиною.

Таблиця 3.5

Анатомічна будова листкової пластинки *Betula pendula* Roth в умовах
м. Кривий Ріг

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Товщина листка, мкм	Висота клітин епідермісу, мкм <u>верхнього</u> нижнього	Товщина паренхіми, мкм <u>палісадної</u> губчастої	Коефіцієнт палісадності, %
Незначний	1 (к)	169,1±0,57	20,3±0,20	67,1±0,33	50,9±0,19
			16,7±0,17	65,0±0,37	
	2	173,4±0,50***	21,4±0,19***	67,7±0,23	51,1±0,15
			18,9±0,16***	65,4±0,37	
	3	172,2±0,62***	20,7±0,20	68,4±0,34**	51,0±0,16
			17,0±0,14	66,1±0,28	
Помірний	4	189,5±0,97***	23,9±0,31***	74,2±0,40***	52,0±0,20
			21,8±0,24***	69,6±0,58***	
	5	187,3±0,57***	25,4±0,17***	71,8±0,34***	51,0±0,13
			21,6±0,18***	68,5±0,23***	
	6	189,0±0,44***	24,1±0,16***	76,3±0,25***	52,8±0,15***
			20,2±0,19***	68,4±0,32***	
Високий	7	199,9±0,84***	27,4±0,22***	78,5±0,38***	53,3±0,18***
			24,7±0,23***	69,3±0,49***	
	8	208,0±0,69***	26,5±0,19***	88,3±0,46***	55,4±0,16***
			22,4±0,16***	70,8±0,34***	

Примітка: дані показники є достовірно відмінними порівняно з контролем за t-критерієм Стьюдента при P = 95 % – *, P = 99 % – ** та P = 99,9 % – ***.

Найменша товщина листків виявлена у рослин дендрарію КБС (д. д. №1) – 169,1 мкм. На інших дослідних ділянках цей показник був достовірно вищим, навіть у зонах з незначним рівнем забруднення (д. д. №2 і №3), що у середньому переважав на 2,2%, ніж у контролі. Максимальні значення встановлені на ділянках №7 і №8, що знаходяться на територіях з найбільшим рівнем техногенного впливу, та були вище за контрольні в середньому на 20,6%. Проміжні показники зафіксовані у рослин, які зростають в умовах помірного забруднення (д. д. №4–6), вони варіювали в межах 187,3–189,5 мкм та були більшими, ніж у дерев ботанічного саду (д. д. №1) на 11,5%. Збільшення товщини листкової пластинки у рослин міських насаджень відбувається за рахунок потовщення її тканин: верхнього і

нижнього епідермісу – до 35% і 47,9%, а також палісадної та губчастої паренхіми – до 31,6% і 8,9% відповідно. У дерев, що зростають у зоні високого рівня аеротехногенного забруднення верхній і нижній епідерміс досягав 27,4 мкм і 24,7 мкм (д. д. №7), а товщина палісадної і губчастої паренхіми – 88,3 мкм і 70,8 мкм (д. д. №8) відповідно, тоді як у контролі (д. д. №1) вони були суттєво меншими. Більшою товщиною покривних тканин у середньому на 20,5% (верхній) і 26,9% (нижній), а також палісадної і губчастої паренхіми – на 10,4% і 5,9% порівняно з контролем – відзначались листки рослин, що зростають на територіях з помірним рівнем забруднення (д. д. №4–6) [169, 235, 443].

За класифікацією Б. Р. Васильєва [49] листки *V. pendula* характеризуються високим рівнем палісадності, що поступово збільшувався з підвищенням техногенного пресу від 50,9% (д. д. №1) до 55,4% (д. д. №8). Достовірні відмінності відносно КБС при цьому виявлені на дослідній ділянці №6, де спостерігається найбільша інтенсивність автотранспортного потоку серед трьох досліджених придорожніх насаджень, та на ділянках №7 і №8, де рівень забруднення є найвищим (див. табл. 3.5). Потовщення мезофілу відбувається переважно за рахунок палісадної паренхіми, що пов'язано зі збільшенням об'єму клітин, у яких містяться хлоропласти, що надають можливість вільного переміщення цим органелам у цитоплазмі та повноцінно виконувати свої функції [103].

Отримані результати досліджень свідчать, що у *V. pendula* в умовах урботехногенного середовища змінюється не тільки морфологічна будова листків, а й відбувається структурно-функціональна перебудова в анатомічній будові листової пластинки, що забезпечує досить успішне зростання цього виду в екстремальних умовах та нормальне функціонування його асиміляційного апарату [103, 309].

3.2.5. Будова продихового апарату листків

При дослідженні асиміляційного апарату рослин однією із важливих характеристик є стан продихів – мікроскопічних структур на епідермісі листків, які контролюють обмін водяної пари і газу між рослинами та атмосферою, а також забезпечують протікання процесу фотосинтезу [292, 391, 413, 477]. Вони складаються з двох замикаючих клітин, які відкриваються і закриваються шляхом зміни тургору в них [292]. Важливою ознакою листкової пластинки є щільність розміщення продихів, що зумовлює швидкість газообміну [341] та відрізняється у різних видів. Структура продихів є чутливою до змін навколишнього середовища [496, 500] і залежить від багатьох факторів: інтенсивності освітлення, температури, вологості повітря [358, 460], а також від рівня аеротехногенного забруднення [430, 460]. Показники розмірів та щільності розташування продихів на листках рослин є важливими параметрами, які відображають реактивність на вплив урботехногенного середовища [123].

За даними різних дослідників виявлено різнонаправлені зміни у продиховому апараті листків *V. pendula* у техногенному середовищі. Так, одні автори показують зменшення кількості продихів на 1 мм² площі листкової пластинки з підвищенням рівня забруднення [154, 398], а інші, навпаки, – їх збільшення [279].

В умовах Кривого Рогу у *V. pendula* під впливом вихлопних газів автотранспорту і, особливо, викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів зменшувалися морфометричні параметри продихів листків (табл. 3.6). Так, найбільші за розмірами продихи *V. pendula* відмічені у листків контрольних рослин (д. д. №1), де показники їхньої довжини і ширини дорівнювали 32 мкм та 19,7 мкм відповідно, у дерев в інших місцях зростання вони достовірно зменшувалися, навіть в умовах незначного рівня забруднення, де на дослідних ділянках №2 і №3 довжина та ширина продихів у *V. pendula* були меншими в середньому на 11,4% та 5,3% відповідно. Дерев, які зазнавали впливу автотранспортних газів (д. д. №4–6),

мали менші розміри продихів порівняно з рослинами КБС на 16,5% (довжина) і 12% (ширина), а біля комбінатів (д. д. №7 і №8) – у середньому на 24,2% та 20,6% відповідно. Отримані дані свідчать, що у листків *B. pendula* в урботехногенному середовищі довжина продиху зменшується у більшій мірі (до 29,4%), ніж ширина (до 25,9%) порівняно з контрольними рослинами КБС (д. д. №1) [169, 443].

Таблиця 3.6

Морфометричні параметри продихів листків рослин *Betula pendula*

Roth в умовах м. Кривий Ріг

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Довжина продиху, мкм	Ширина продиху, мкм	Довжина щілини, мкм	Площа продиху, мкм ²
Незначний	1 (к)	32,0±0,46	19,7±0,33	21,1±0,42	501,8±13,85
	2	28,0±0,29***	18,4±0,25**	18,0±0,22***	407,5±8,79***
	3	28,7±0,28***	18,9±0,28*	19,2±0,27***	426,0±8,19***
Помірний	4	27,7±0,34***	17,7±0,23***	17,9±0,27***	388,9±8,86***
	5	26,3±0,26***	17,2±0,28***	17,5±0,27***	356,7±7,83***
	6	26,2±0,21***	17,1±0,21***	16,6±0,24***	351,2±5,41***
Високий	7	25,9±0,33***	16,7±0,25***	16,3±0,27***	342,0±7,82***
	8	22,6±0,27***	14,6±0,22***	15,2±0,20***	260,4±5,90***

Примітка: дані показники є достовірно відмінними порівняно з контролем за *t*-критерієм Стьюдента при $P = 95\%$ – *, $P = 99\%$ – ** та $P = 99,9\%$ – ***.

Зі зменшенням розмірів продихового апарату листків *B. pendula* в урботехногенному середовищі зменшувалася і його площа порівняно з рослинами дендрарію КБС (д. д. №1) на 15,1–48,1% в залежності від місцезростання. Так, у зонах з незначним рівнем аеротехногенного забруднення (д. д. №2 і №3) площа продихів була меншою в середньому у 1,2 раза, на дослідних ділянках, що знаходяться у зоні помірного рівня забруднення (д. д. №4–6) – у 1,4 раза, а на ділянках, що зазнають впливу високої концентрації забруднюючих речовин – у 1,7 раза, ніж у листків дерев ботанічного саду (д. д. №1). Також зменшувалася довжина щілини продихів у листках *B. pendula* на семи дослідних ділянках порівняно з контролем (21,1

мкм): у зоні незначного рівня забруднення (д. д. №2 і №3) у середньому на 11,8%, на ділянках №4–6 – на 17,9%, а на ділянках №7 і №8 – на 25,4%. Найменші значення цього показника відмічені у рослин, що зазнають впливу токсичних викидів з ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8) і дорівнювали 15,2 мкм [169, 443].

Такі зміни продихового апарату листків рослин під впливом токсичних викидів комбінатів та вихлопних газів автотранспорту є відповідною реакцією на несприятливі та стресові умови урботехногенного середовища. Для того, щоб уникнути значних порушень процесів газообміну та транспірації в техногенних умовах у рослин *V. pendula* включаються адаптивні механізми перебудови ультраструктури продихового апарату, які супроводжуються збільшенням кількості продихів на 1 мм² площі листка.

В. С. Ніколаєвський [214] вважав, що наявність більшої кількості дрібних продихів на одиницю поверхні листка забезпечує краще регулювання ступеня їх відкритості. Дослідження *V. pendula* у Кривому Розі на восьми дослідних ділянках показали, що найменша кількість продихів на абаксіальній поверхні листка спостерігалась у рослин, які ростуть у зоні незначного рівня забруднення (д. д. №1–3), що варіювала в межах 92,9–103,6 шт./мм²; у дерев, які зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту (д. д. №4–6), кількість продихів збільшилась на 26,6%, а за дії шкідливих викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів (д. д. №7 і №8) – на 42,5% порівняно з контролем (д. д. №1) (рис. 3.7).

Максимальна кількість продихів виявлена у листків *V. pendula* на ділянці №8 – 136,8 шт./мм², що у 1,5 раза більше, ніж у рослин КБС (д. д. №1). Ці результати вказують на те, що за рахунок перебудови продихового апарату листків у *V. pendula* зберігається на нормальному рівні функціонування процесів газообміну і транспірації в стресових умовах урботехногенного середовища [169, 443].

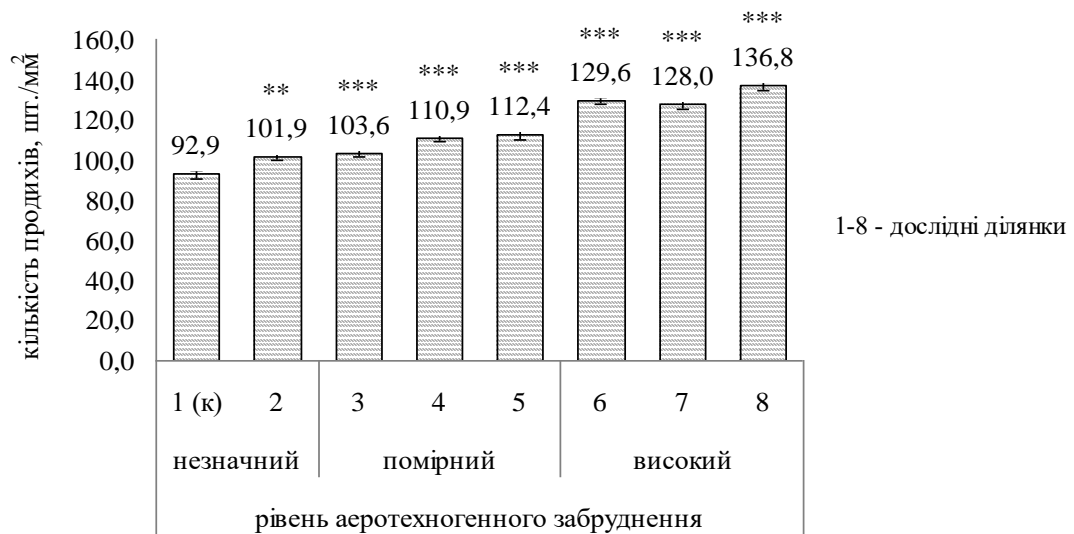


Рис. 3.7. Щільність розташування продихів на поверхні листків *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Узагальнюючи отримані результати досліджень, можна засвідчити, що у *B. pendula* в умовах забруднення повітря відбуваються структурні перебудови продихового апарату листків, де з підвищенням рівня техногенного пресу зменшуються розміри продихів – довжини, ширини, площі та довжини щілини і збільшується їх кількість на 1 мм², що є адаптивною реакцією асиміляційного апарату рослин на хронічний вплив поллютантів.

3.2.6. Сезонна динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках

Важливу роль в асиміляційному апараті відіграє пігментна система рослин, завдяки якій здійснюється процес фотосинтезу [280]. Основною складовою її є фотосинтетичні пігменти: зелені – хлорофіл *a* і *b* та жовті – каротиноїди [464]. Кожен пігмент виконує певну функцію: хлорофіли відповідають за поглинання сонячної енергії у певній зоні спектру, яка витрачається на потреби фотосинтезу, а каротиноїди запобігають руйнуванню молекул хлорофілу від потужних потоків енергії при високій

інтенсивності світла [4, 27, 269]. Функціонування фотосинтетичного апарату рослинного організму залежить від кількості пігментів та їх співвідношення, зміни показників яких відображають реакцію рослинного організму на різні умови зростання [44, 141].

В умовах урботехногенного середовища фотосинтетична діяльність рослин, частіше за все, знижується в результаті впливу на них різних за кількісно-якісним складом аерополютантів [44, 69]. Токсичні викиди, які потрапляють у клітини рослин, накопичуються у хлоропластах, активізують хлорофілазу, яка руйнує хлорофіл-білково-ліпідний комплекс пігментної системи, що призводить до зменшення інтенсивності фотосинтезу [24]. Тому при проведенні комплексних досліджень асиміляційного апарату важливим є визначення вмісту хлорофілу та каротиноїдів у листках, оскільки фізіолого-біохімічні показники порівняно з морфологічними, є більш чутливими до несприятливих природних факторів і техногенного забруднення [44].

Для оцінки впливу аеротехногенного забруднення на фотосинтетичний апарат *V. pendula* відбирали проби листків з рослин на восьми дослідних ділянках (№1–6, №8–9) м. Кривий Ріг упродовж п'яти календарних місяців 2017 р. Додатково зразки було взято у дерев з відвалу №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (д. д. №7), що знаходиться в умовах помірного рівня забруднення, який *V. pendula* успішно колонізує не один рік і відзначається високою життєздатністю. До того ж, на відвалах у рослин *V. pendula* спостерігається більш інтенсивне забарвлення листків порівняно з міськими насадженнями, що є актуальним аспектом для порівняльних досліджень.

Вивчення динаміки вмісту зелених пігментів у листках дерев з 9-ти місць зростання протягом вегетаційного сезону показало, що їх кількість (хлорофілу *a* і *b*) збільшувалася у першій половині вегетації та поступово зменшувалася у другій (рис. 3.8, 3.9). Така динаміка є закономірною, що показано в досліджених рослин, які зростають у сприятливих умовах без впливу аерополютантів [66, 138]. Однак, у різних місцях зростання вміст хлорофілу *a* і *b* у листках *V. pendula* був неоднаковим і варіював від 1,90 мг/г

сирої маси до 1,4 мг/г сирої маси та від 0,85 мг/г сирої маси до 0,51 мг/г сирої маси відповідно. Найвищі значення цих пігментів спостерігались у листках рослин КБС (д. д. №1) упродовж вегетації, а в інших міських насадженнях поступово знижувались максимально на 15,2% – хлорофілу *a* та 24,0% – хлорофілу *b*, мінімальні показники відмічались у дерев, що зазнають впливу металургійного комбінату (д. д. №9) [169].

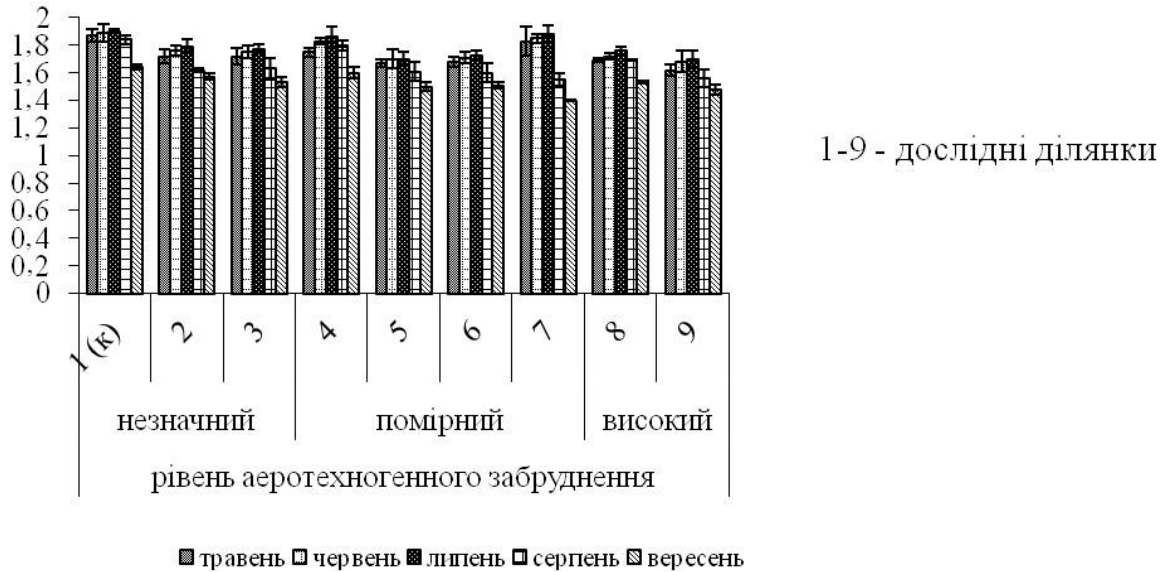


Рис. 3.8. Сезонна динаміка хлорофілу *a* в листках *Betula pendula* Roth з різних місць зростання (2017 р.), мг/г сирої маси

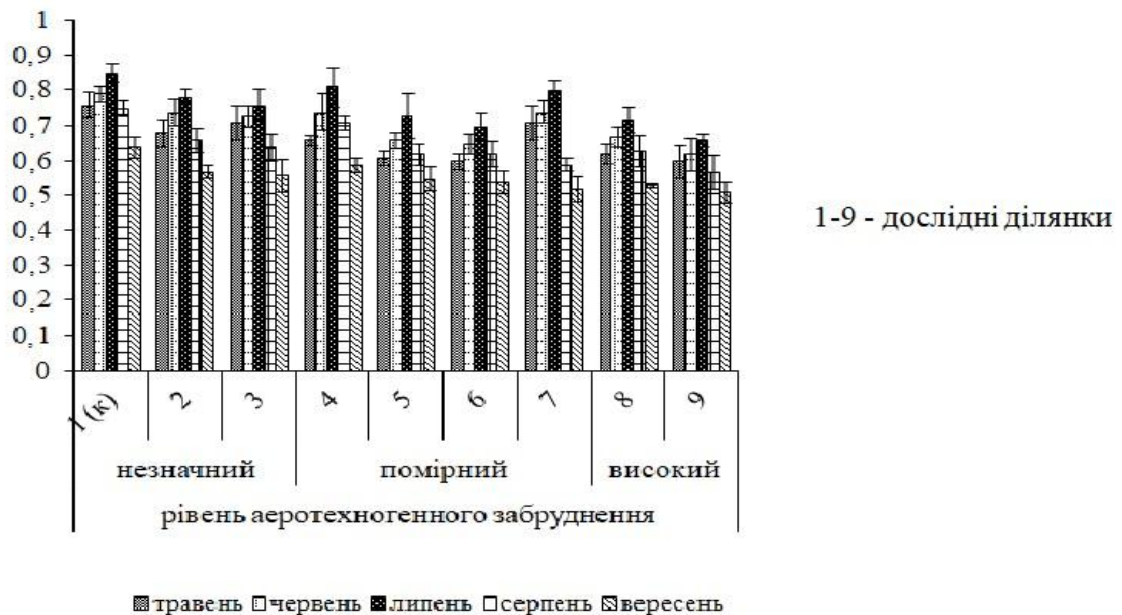


Рис. 3.9. Сезонна динаміка хлорофілу *b* в листках *Betula pendula* Roth з різних місць зростання (2017 р.), мг/г сирої маси

Оцінюючи отримані дані по вмісту пігментів у листках *B. pendula* у географічно віддалених районах міста, виявлено, що на дослідних ділянках, які розташовані на півночі Кривого Рогу (протяжість міста 126 км) кількість зелених пігментів була дещо вищою, ніж у центральній та південній частинах. Це може бути пов'язано як з особливостями природно-кліматичних факторів, так і впливом забруднювачів середовища. Однією з причин подібних результатів є зміна географічної широти, зі збільшенням якої відбувається зниження висоти сонцестояння, що приводить до зниження рівня сонячної радіації, а також зміни співвідношення спектральних потоків [311]. Також з півдня на північ лінійно зростає кількість опадів та, відповідно, хмарність, що призводить до ослаблення радіації та збільшення частки дифузного світла [297]. Т. В. Герасименко та В. М. Швецова [72] вважають, що низький вміст хлорофілу в листках рослин при високому рівні сонячної інсоляції свідчить про їх світлолюбність.

У рослин *B. pendula* на відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (д. д. №7) у перші три місяці досліджень вміст хлорофілів *a* і *b* у листках *B. pendula* мав найвищі значення за винятком контролю – 1,83–1,88 мг/г і 0,71–0,80 мг/г сирової маси відповідно, а в останні два місяці, навпаки, мінімальні – 1,40–1,55 мг/г та 0,52–0,59 мг/г сирової маси (див. рис. 3.8, 3.9). Такі зміни у пігментній системі на залізорудному відвалі свідчать про те, що у першій половині вегетації у *B. pendula* в період активного росту рослин відбувається синтез зелених пігментів, що, вірогідно, забезпечує їм високий рівень фотосинтезу. А в спекотні місяці у рослин на кам'янистих субстратах відвалів при дефіциті вологи відбувається різкий спад вмісту хлорофілу у листках, що призводить до більш раннього їх пожовтіння, ніж у рослин міських насаджень. Це є відповідною реакцією рослин на вкрай несприятливі умови зростання на відвалі, а також вплив спеки і посухи, що призводить до більш раннього старіння листків та їх опадання [169].

Не менш важливим є показники вмісту каротиноїдів, які виконують фотопротекторну функцію, запобігаючи руйнуванню хлорофілів при

інтенсивному сонячному випромінюванні [4, 27, 43, 353]. Так, у листках рослин *B. pendula* в умовах Кривого Рогу кількість жовтих пігментів у період з травня до липня була меншою порівняно з кінцем вегетації (рис. 3.10). Така динаміка вмісту каротиноїдів є закономірною і підтверджена в багатьох дослідженнях з різними видами рослин [66, 138].

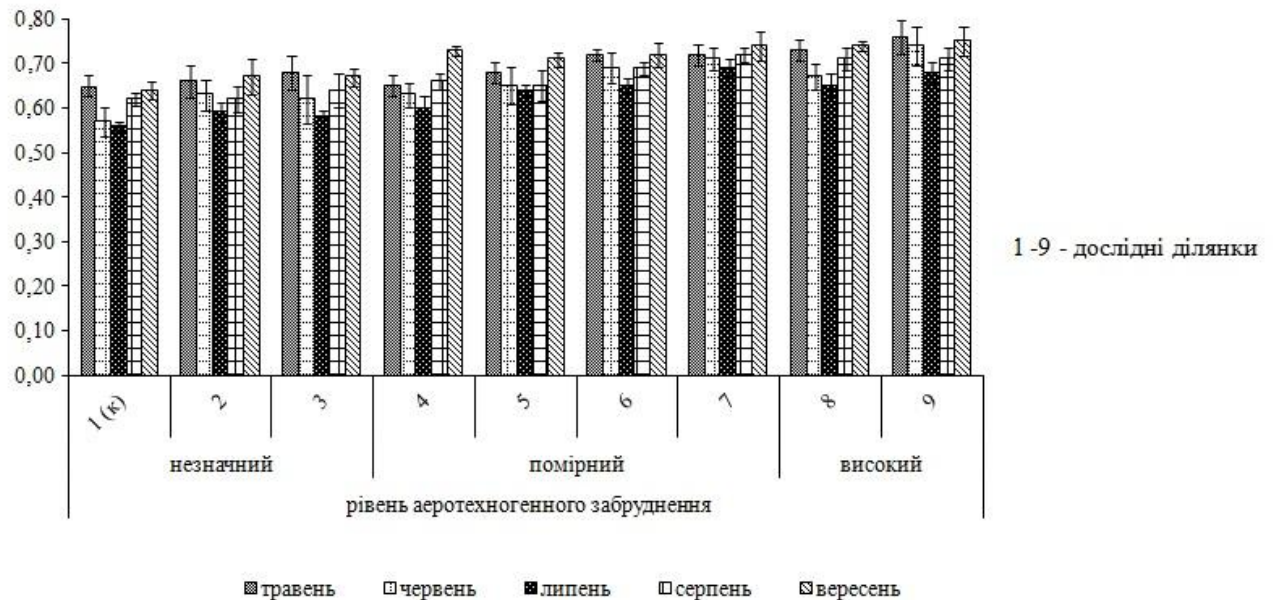


Рис. 3.10. Сезонна динаміка вмісту каротиноїдів у листках *Betula pendula* Roth з різних місць зростання (2017 р.), мг/г сирої маси

У листках *B. pendula* в різних місцях зростання рослин кількість жовтих пігментів варіювала від 0,56 мг/г до 0,76 мг/г сирої маси. Найменші значення при цьому відмічені у дерев дендрарію КБС (д. д. №1), які не перевищували 0,65 мг/г сирої маси, на всіх інших дослідних ділянках (№2–9) ці показники збільшувалися максимально на 16,1–29,8% упродовж усього вегетаційного періоду. Найбільша кількість жовтих пігментів виявлена у листках рослин, що зазнають впливу шкідливих викидів металургійного комбінату (д. д. №9) у трьох місяцях (травень, червень, вересень) та на відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (д. д. №7) – у липні та серпні. Проміжні показники встановлені для листків дерев, що зростають на ділянках з помірним рівнем забруднення (д. д. 4–6), де вміст каротиноїдів перевищував контрольні значення в середньому на 5,1–15,2% [169].

Підвищення вмісту каротиноїдів у листках рослин зі збільшенням техногенного впливу, очевидно, є адаптивною реакцією на погіршення стану середовища. В цих умовах, вірогідно, зростає захисна функція каротиноїдів щодо запобігання фотоокиснення хлорофілів.

Загальна сума зелених пігментів у листках рослин *B. pendula* у травні становила 2,23–2,62 мг/г сирової маси та поступово підвищувалася на всіх 9 дослідних ділянках, сягаючи максимальних значень у липні – 2,36–2,73 мг/г сирової маси залежно від місця зростання (табл. 3.7). У цей період завершується фаза росту і розвитку листків у *B. pendula*, а їхній фотосинтетичний апарат досягає оптимальної кількості пігментів, необхідної для активного здійснення процесу фотосинтезу [185]. У серпні, коли середньомісячна температура повітря піднялася до найвищих показників (24,4°C) при вкрай обмеженій кількості опадів (22 мм) (див. рис. 2.1, клімадіаграма 2017 р.), у листках рослин загальний вміст хлорофілів *a* і *b* різко зменшився відносно даних у отриманих у липні на 5,1–20,1% на дослідних ділянках *B. pendula* і в подальшому знижувався на 7,7–12,4%. Упродовж п'яти календарних місяців найвищі показники вмісту хлорофілу відмічені у контролі (д. д. №1), а мінімальні – у травні-липні у дерев, що зростають біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в зоні високого рівня аеротехногенного забруднення (д. д. №9) і у серпні-вересні – на відвалі №7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК (д. д. №7). Проте відмінності у кількості зелених пігментів були катастрофічними – на 13,6–17,4% менше, ніж у рослин ботанічного саду (д. д. №1) [169].

Загальновідомо, що співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* та суми хлорофілів до каротиноїдів є чутливими маркерами техногенного впливу на пігментну систему листків рослин [282]. Варіювання кількості хлорофілів та каротиноїдів у листках рослин в умовах забруднення під дією вихлопних газів автотранспорту та токсичних викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів у м. Кривий Ріг істотно впливає на їхнє співвідношення. Так, наші дослідження показали, що у міру

Таблиця 3.7

Сума хлорофілів a і b та співвідношення фотосинтетичних пігментів у листках *B. pendula* з різних місць зростання протягом вегетаційного сезону 2017 р.

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Сума хл. ($a+b$)					Співвідношення									
							хл. a / хл. b					(хл. a +хл. b)/каротиноїди				
		05	06	07	08	09	05	06	07	08	09	05	06	07	08	09
Незначний	1 (к)	2,62	2,69	2,73	2,59	2,27	2,5	2,4	2,3	2,5	2,6	4,1	4,5	4,9	4,2	3,6
	2	2,40	2,50	2,56	2,29	2,11	2,7	2,5	2,4	2,6	2,8	3,8	4,2	4,5	3,9	3,4
	3	2,43	2,48	2,53	2,32	2,10	2,7	2,5	2,4	2,6	2,8	3,7	4,3	4,6	3,8	3,1
Помірний	4	2,41	2,57	2,66	2,52	2,23	2,7	2,6	2,5	2,6	2,8	3,8	4,2	4,6	3,8	3,0
	5	2,28	2,36	2,44	2,22	2,05	2,8	2,6	2,5	2,7	2,9	3,4	3,7	3,9	3,5	2,9
	6	2,28	2,37	2,43	2,25	2,03	2,8	2,7	2,5	2,8	2,9	3,2	3,5	3,8	3,3	2,9
	7	2,53	2,59	2,68	2,14	1,91	2,8	2,5	2,4	2,7	2,9	3,5	3,7	3,9	3,0	2,7
Високий	8	2,31	2,39	2,64	2,32	2,06	2,8	2,7	2,5	2,9	2,9	3,2	3,6	3,9	3,3	2,8
	9	2,23	2,26	2,36	2,15	1,99	2,9	2,7	2,6	3,0	3,0	3,1	3,2	3,6	3,0	2,7

Примітка: 05, 06, 07, 08, 09 – календарні місяці: травень, червень, липень, серпень, вересень; дослідна ділянка 7 – відвал Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК», інші – розміщені у тому ж порядку як у попередніх таблицях.

збільшення техногенного впливу у різних місцях зростання рослин упродовж п'яти місяців у їхніх листках поступово підвищувалося співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* з 2,3–2,6 у контролі (д. д. №1) до 2,6–3,0 біля ПАТ «АселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №9), проміжні показники цього параметру виявлені на ділянках в умовах незначного (№2 і №3) та помірного (д. д. №4–6) рівнів забруднення – 2,4–2,8 та 2,5–2,9 відповідно [169].

Збільшення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* відбувається переважно за рахунок зменшення у листках рослин вмісту хлорофілу *b*, який є більш лабільним в умовах забруднення. Так, у дослідженні С. Н. Ліщинської [185] відмічено, що мінливість вмісту хлорофілу *b* у листках *V. pendula* в 1,5 раза вище, ніж хлорофілу *a*.

Підвищення показників співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* було виявлено й іншими дослідниками, які вважають, що подібні зміни у пігментному апараті *V. pendula* є захисним механізмом рослин в умовах забруднення за рахунок перебудови ультраструктури хлоропластів у сторону «світлового» типу, що забезпечує підвищення ефективності засвоєння світла та рівня захисту мембран хлоропластів від фотодеструкції [422]. За даними В. С. Ніколаєвського [214], збільшення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* є ознакою високої потенційної інтенсивності фотосинтезу.

Про перебудову світлозбиральних комплексів фотосистем і значення каротиноїдів у пігментному фонді листків свідчить зміна співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів [139]. Цей показник відображає оперативну реакцію пігментного комплексу листків рослин на несприятливі зміни факторів середовища, тому часто використовується як показник рівня пристосованості рослин в екстремальних умовах [67]. Збільшення вмісту каротиноїдів у стресових умовах на фоні зменшення кількості зелених пігментів призводить до зниження показників співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів, що підтверджує захисну роль каротиноїдів [66].

У листках *B. pendula* в умовах Кривого Рогу відношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів упродовж вегетаційного періоду рослин підвищувалося з травня до липня на 10,3–19,6% та знижувалося в кінці вегетації. Відносно контролю (д. д. №1), де було відмічено найвищі значення цього показника впродовж всього вегетаційного сезону – 3,6-4,9, у листках рослин з інших місць зростання відношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів поступово зменшувалося до 24,4–28,9% на дослідній ділянці №9 у зоні високого рівня забруднення. Отримані дані вказують на те, що зменшення співвідношення суми зелених пігментів до каротиноїдів у листках *B. pendula* відповідно до зростання рівня аеротехногенного навантаження, очевидно, є адаптивною реакцією, що попереджує руйнування хлоропластів у клітинах асиміляційної тканини листків та забезпечує достатньо успішне проходження процесів фотосинтезу у погіршених та стресових умовах урбаносередовища [169].

Узагальнюючи отримані дані, можна засвідчити, що в урботехногенних умовах Кривого Рогу токсичні викиди з гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів, а також вихлопні гази автотранспорту призводять до зміни вмісту хлорофілів *a* і *b*, каротиноїдів та їх співвідношень у листках. Додатковим фактором, який суттєво впливає на зміну пігментного комплексу *B. pendula*, є високий рівень сонячної інсоляції, підвищена температура та посуха у другій половині вегетації рослин, що спричиняють більш значне зменшення зелених пігментів у листках *B. pendula* в урботехногенних умовах середовища.

Висновки до розділу 3:

1) Встановлено, що у дерев *B. pendula* з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення погіршується життєвий стан насаджень з 99% до 71%, де шість із них оцінені як «здорові»; останні два, що зазнають впливу шкідливих викидів комбінатів – «пошкоджені». З погіршенням умов середовища суттєво збільшується пошкодженість крони дерев: у зонах з

незначним рівнем забруднення суховерхість досягає 0,5 м, на ділянках з помірним та високим рівнями забруднення – до 2 м та 4 м відповідно.

2) Виявлено, що на ділянках з помірним та високим рівнем забруднення біометричні параметри дерев *B. pendula* є достовірно нижчими порівняно з рослинами ботанічного саду: показники висоти дерев зменшуються до 30,8%, діаметр стовбура – до 26,1%, а площа проєкції та об'єм крони – до 57,4% та 75,7% відповідно. Додатковий ефект, при цьому, спричиняє розміщення дерев у куртинних насадженнях, де біометричні параметри дерев, які зростають в центральній частині посадки мають значно менші показники, ніж ті, що знаходяться по периферії.

3) Встановлено, що вплив вихлопних газів автотранспорту та викиди гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів призводять до зменшення довжини черешка (до 14,3%), довжини (до 8,4%) та ширини листка (до 12,8%) у дерев *B. pendula* відносно контролю. Мінімальні значення цих показників виявлені у рослин, що зростають на ділянках з високим рівнем забруднення.

4) Досліджено рівень флуктуючої асиметрії листкової пластинки *B. pendula* та виявлено пряму залежність збільшення порушення симетрії від рівня аеротехногенного забруднення (від 0,017 до 0,101): найменші показники відзначені у рослин контролю, найвищі – у дерев, що зазнають впливу шкідливих викидів комбінатів. Результати свідчать про високу чутливість симетричних параметрів листка *B. pendula* до аеротехногенного впливу та можуть бути використані для оцінки рівня забруднення урботехногенного середовища.

5) На основі значень флуктуючої асиметрії визначено інтегральний показник *B. pendula*, що характеризує стан навколишнього середовища: для рослин, які зростають на дослідних ділянках з незначним рівнем забруднення він є сприятливим (бал 1), а на ділянках з великим промисловим і транспортним навантаженням (бал 5) – «критичним».

6) Установлено, що з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення збільшується кількість листків у рослин *B. pendula* із зігнутою верхівкою листка від 5% – у контролі до 38% – біля ПрАТ «ПівнГЗК», проміжні значення виявлені на ділянках, де рослини зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту – від 19% до 24%.

7) Виявлено потовщення листкової пластинки до 23% та її окремих тканин з погіршенням умов середовища: верхнього і нижнього епідермісу – до 35% і 47,9% у дерев, що зростають біля ПрАТ «ПівнГЗК», а також палисадної та губчастої паренхіми – до 31,6% і 8,9% у насадженні, яке зростає поблизу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що, очевидно, є адаптивною реакцією на несприятливі умови зростання.

8) Відмічено, що високий рівень аеротехногенного забруднення призводить до зміни в продиховому апараті листків *B. pendula*: зменшення довжини, ширини, площі продихів та їх щілини в середньому на 16,5%, 12,0%, 27,1%, 17,9% – на дослідних ділянках з помірним рівнем забруднення та на 24,2% та 20,6% 40,0%, 25,4% – у зоні високого забруднення довкілля відповідно порівняно з рослинами дендрарію ботанічного саду. Зворотну тенденцію має показник щільності продихів на 1мм^2 , який з підвищенням рівня аеротехногенного пресу збільшувався у листках рослин біля доріг у середньому на 26,6%; а поблизу гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів – на 42,6% порівняно з контролем.

9) В умовах Кривого Рогу з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення в листках *B. pendula* встановлено зменшення вмісту хлорофілу *a* і *b*, їх суми та співвідношення суми хлорофілу *a* і *b* до каротиноїдів до 15,8%, 24,0%, 17,4%, 28,9% відповідно та підвищення кількості каротиноїдів і співвідношення хлорофілу *a* до *b* каротиноїдів – до 29,8% та 20,0% відповідно відносно контролю. Виявлено, що на ділянках з високим рівнем сонячної інсоляції вміст зелених пігментів у листках рослин зменшується більш інтенсивно.

При написанні розділу 3 були використані наступні посилання:

166. Коршиков І. І. Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth. в урбосистемі м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2017. № 1. С. 28–35.
167. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ)*. Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41.
169. Коршиков І. І., Сулова О. П., Петрушкевич Ю. М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
229. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на морфометричні параметри *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Рослини та урбанізація: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (1–2 березня 2017 р., м. Дніпро)*. Дніпро, 2017. С. 75–77.
230. Петрушкевич Ю. М. Морфометричні параметри листкової пластинки *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (5–10 вересня 2017 р., м. Луцьк)*. Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 106.
231. Петрушкевич Ю. М. Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін: зб. ст. міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (17–21 вересня 2017 р., м. Одеса)*. Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.
233. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки*

Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Біологія. 2018. № 1 (72). С. 82–89.

235. Петрушкевич Ю. М. Анатомічна будова листків *Betula pendula* Roth в урботехногенних умовах. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (6–9 вересня 2019 року, м. Харків). Харків, 2019. С. 39.*
443. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005.

РОЗДІЛ 4

РОЗСЕЛЕННЯ, АДАПТИВНІ ЗМІНИ ТА ПОПУЛЯЦІЙНА СТРУКТУРА *BETULA PENDULA* ROTH НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ

Видобуток залізної руди на території Криворіжжя призвів до докорінної трансформації природних ландшафтів, зміни гідрологічного режиму, геологічних умов, мікроклімату, погіршення умов для рослин і тварин [263]. У процесі виймання корисних копалин із надр землі та подальшої відсипки й складування великих об'ємів пустої породи сформувались великі відвальні комплекси. Ці специфічні техногенні екотопи займають великі площі в десятки гектарів та малопридатні для існування рослинності [163]. Субстрат відвалів складається переважно із залізних кварцитів та сланців з додаванням глин, суглинків та скальних порід. У центральній частині Криворіжжя на відвалах кар'єрів наявні червоно-бурі глини, лесовидні суглинки, змішані леси, вапняки, щебінь, сланці, а в південній частині регіону домішується пісок [263].

Для покращення екологічної ситуації на Криворіжжі на відвалах з другої половини ХХ ст. почали інтенсивно проводити рекультиваційні роботи спочатку співробітниками кафедри лісових культур Української с/г академії, а потім співробітниками цеху озеленення ПівнГЗК, робітниками зеленого будівництва Кривого Рогу, працівниками Криворізького філіалу Донецького ботанічного саду АН УРСР під керівництвом В. Е. Чайки [160], співробітниками Криворізького педагогічного інституту та НІІ руд вентиляції [98] та Дніпропетровського с/г університету [273], а в середині 70-х рр. минулого століття – й працівниками КБС НАН України [190, 291] шляхом посадки найбільш стійких деревних порід та кущів. Однак, в останні десятиліття об'єм цієї роботи суттєво скоротився внаслідок появи економічних проблем, оскільки рекультивація є трудомісткою та потребує великих матеріальних та фінансових затрат [165]. Завдяки видам, які змогли

адаптуватися до специфічних умов зростання на залізорудних відвалах едафічні умови суттєво покращилися. З часом, самотійно почала розвиватися дендрофлора шляхом заносу насіння із сусідніх територій, серед яких зустрічається й *B. pendula* [162, 164].

За даними С. В. Яркова [320] на відвалах РУ К. Лібкнехта (центральна частина Криворіжжя), субстрат яких складається з залізистих кварцитів, знайдені унікальні ділянки *B. pendula*. І. І. Коршиковим зі співавт. [164] при проведенні обстежень більше 10 відвалів у різних районах Криворіжжя виявлено різновікові особини *B. pendula* природного поселення. Найбільше екземплярів *B. pendula* виявлено на Петрівському відвалі, який знаходиться біля смт. Петрове Кіровоградської області та на Першотравневому (автомобільному), де утворює як одиничні поселення, так і стійкі популяційні локуси до 0,3 га. У специфічних умовах техногенно порушених ландшафтів у молодому віці вона характеризується інтенсивним ростом та має «здоровий» життєвий стан [169, 239]. Також, *B. pendula* поселяється на вигорілих ділянках *Pinus pallasiana* та відновлюється насіннєвим шляхом, яке відбувається активніше, ніж у інших деревних видів [63].

B. pendula є піонером на залізорудних відвалах Криворіжжя, освоює переважно незаселені іншими видами території. Вона утворює велику кількість плодів, які володіють хорошими аеродинамічними властивостями й поширюються на великі відстані за допомогою вітру та швидко приживаються, утворюючи самосів [169]. Оскільки *B. pendula* є швидкорослим видом, дерева в молодому віці швидко збільшуються в розмірах та формують цілі зарості як на плато, так і на схилах відвалів. Щорічна поява сходів і подальший розвиток рослин передрепродуктивного та репродуктивного періодів сприяє поступовому розселенню *B. pendula*, утворюючи локальні популяції. Неоднорідність едафічних умов, відмінності фізико-механічних особливостей субстратів на техногенно порушених ландшафтах визначають щільність поселення рослин та призводять до нерівномірного заростання частин відвалу, розділяючи популяції на окремі

локуси. Кожен локус є важливим функціональним елементом популяції [125], який має певні розміри, межі, просторовий розподіл, а також свій мікроклімат. Відмінні умови існування для *B. pendula* в різних локусах не завжди однаково оптимальні для заселення [115]. Тому дослідження популяційної структури важливо проводити саме на рівні локусів, які й визначають стійкість популяції в екосистемах та можливість її довготривалого існування в просторі й часі [96, 115].

4.1. Біометричні параметри дерев та популяційна структура *Betula pendula* у різних локусах на техногенного порушених ландшафтах

При дослідженні кожної популяції першорядне значення мають такі показники, як чисельність і щільність елементів, що визначають позицію виду в угрупованні [127]. Дані ознаки можуть змінюватися та залежать від біологічних особливостей виду та зовнішніх умов (наявність ресурсів для існування виду, екологічна однорідність екотопу, сила та характер бар'єрів, конкуренція тощо) [93]. В умовах Криворіжжя на чотирьох залізорудних відвалах Криворіжжя обстежено одинадцять популяційних локусів, площа яких на момент дослідження становила від 0,08 до 2,73 га (табл. 4.1). Кількість рослин у межах кожного локусу варіювала від 91 до 1507 особин, а їх щільність – від 1,2 ос. до 51,9 ос. на 100 м².

Таблиця 4.1

Характеристика популяційних локусів *Betula pendula* Roth на чотирьох залізорудних відвалах Криворіжжя

Відвал	Популяційні локуси	S _{тер.} , га	К-сть різновікових особин	Місцезростання	Характеристика субстрату
Петрівський (ПрАТ «ЦГЗК»)	П1	0,14	97	плато 2 берми, північно-східна частина відвалу	крупноуламкові кварцити та пісковики
	П2	0,50	290	плато 3 берми, північна частина відвалу	сланці та пісковики

Продовження таблиця 4.1

Відвал	Популяційні локуси	$S_{\text{тер.}}$, га	К-сть різновікових особин	Місцезростання	Характеристика субстрату
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру (ПрАТ «ПівнГЗК»)	П3	0,94	222	плато 2 берми, південно-східна частина відвалу	суміш сланців, дрібноуламкових кварцитів з елементами суглинистих ґрунтів
	П4	0,65	115	плато 3 берми, вершина відвалу	суміш сланців, дрібноуламкових кварцитів з елементами суглинистих ґрунтів
	П5	0,35	158	схил 3 берми, північно-західна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
№7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П6	0,08	415	плато 1 берми, північна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковим и кварцитами
	П7	0,48	1507	плато 1 берми, західна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковим и кварцитами
	П8	0,20	549	схил 1 берми, східна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковим и кварцитами
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П9	0,39	769	плато 1 берми, південна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
	П10	2,73	322	плато 2 берми, північно-східна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
	П11	0,39	91	плато 2 берми, північно-західна частина відвалу	суміш сланців з дрібноуламковими кварцитами

В усіх досліджених локусах виявлені рослини, які здатні до репродукції, проте їх кількість істотно варіювала. Мінімальна чисельність

особин генеративного віку зафіксована у П8, яка становила 36 особин, а максимальна – 166 шт. у П9, що у 4,6 раза вище порівняно з найменшим значенням (табл. 4.2). Серед чотирьох досліджених залізородних відвалів 40,1% дерев цієї вікової групи виявлено на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК», а на інших – їх кількість була у 2 рази нижчою. Рослини на чотирьох відвалах мали неоднакові морфометричні показники. Так, наприклад, діаметр стовбура на рівні кореневої шийки змінювався від 9,1 см (у П10) до 14,8 см (у П4), а на висоті 1,3 м – від 3,9 см (у П11) до 8,7 см (у П1) відповідно. Висота дерев досягала 8,6 м (у П1) та була не нижче, ніж 4,5 м (у П10). У деревних особин показники площі проєкції та об'єму крони також відрізнялись у різних місцях зростання, вони становили 5,5–13,9 м² і 17,4–56,7 м³ відповідно [168].

Таблиця 4.2

Морфометричні параметри дерев *Betula pendula* Roth, які досягли генеративного віку, на залізородних відвалах Криворіжжя

Відвал	Популяційні локуси	К-сть особин	D ₀ , см	D ₁ , см	h _д , м	S _{кр} , м ²	V _{кр} , м ³
Петрівський	П1	44	12,3	8,7	7,8	9,7	37,5
	П2	130	13,6	8,0	8,6	11,4	56,7
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	87	11,9	6,3	6,0	6,8	20,8
	П4	45	14,8	7,8	5,3	9,1	22,8
	П5	39	10,8	6,0	6,2	8,0	21,8
№7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П6	57	11,6	6,5	6,4	12,5	44,3
	П7	71	12,3	6,5	6,9	10,6	39,3
	П8	36	14,3	8,1	6,2	13,9	48,9
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П9	166	11,8	4,8	5,4	8,0	27,4
	П10	120	9,1	4,3	4,5	5,5	17,7
	П11	55	9,7	3,9	4,7	5,8	17,4

Примітка: D₀ – діаметр стовбура на рівні кореневої шийки, D₁ – діаметр стовбура на рівні 1,3 м, h_д – висота дерева, S_{кр} – площа проєкції крони, V_{кр} – об'єм крони.

В усіх локусах відмічено дерева з високим рівнем життєвого стану, тому за шкалою В. А. Алексєєва [6] вони характеризуються як «здорові»

(рис. 4.1). Найнижчі показники цього параметру серед 11 локусів виявлено у ПЗ, який становив 86,5%, в інших він складав 96% і вище.

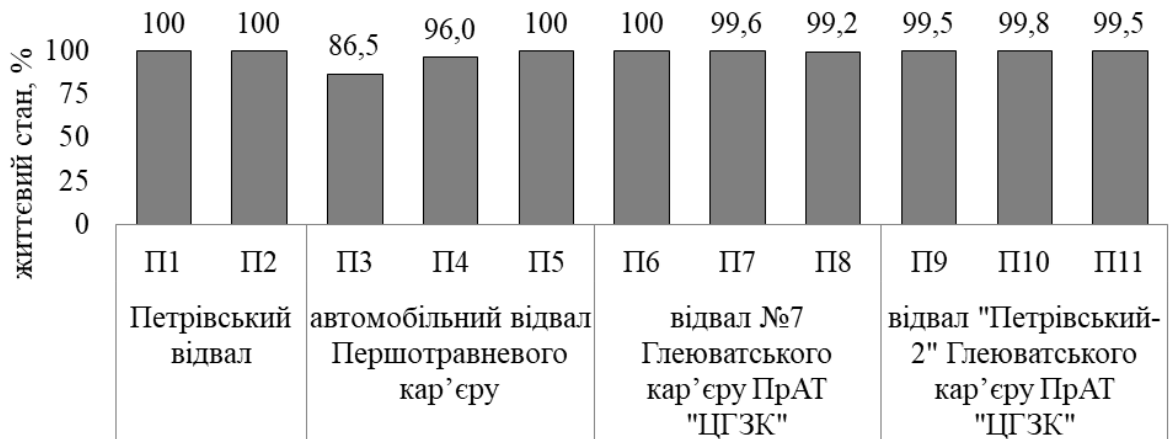


Рис. 4.1. Рівень життєвого стану дерев *Betula pendula* Roth генеративного віку в досліджених локусах

У окремих деревах, які зростають на відвалах, збільшується протяжність крони за рахунок скелетних гілок, які починають відростати відразу над кореневою шийкою (Додаток Б). Так, наприклад, на Петрівському відвалі у чотирьох досліджених особин *B. pendula* з великою протяжністю крони, які мали найбільші розміри, відмічено від 29 до 35 скелетних гілок з однієї сторони крони та у 2,2–2,5 раза більше – по всій кроні (табл. 4.3). Висота дерев із діаметром стовбура на рівні кореневої шийки 32,5–41 см та на висоті 1,3 м – 21–25 см становила 14,5–16,5 м. Значна кількість скелетних гілок забезпечує формування крони великих розмірів з площею проєкції 56,7–122,7 м² та об'ємом – 411,2–1011,9 м³ [168].

Деревні особини *B. pendula* з добре розвиненою протяжністю крони зростають переважно поодинокі. Деякі автори пояснюють такі видозміни як адаптивну реакцію рослин на специфічні умови зростання, причиною якого є відсутність внутрішньо- та міжвидової конкуренції, що зумовлює збільшення надземної частини рослини, а в подальшому й підвищення активності фотосинтезуючих органів [148, 194]. До того ж, високі показники проєкції крони забезпечують збереження вологи у субстраті під деревом, яка

необхідна для успішного росту і розвитку даного виду у специфічних умовах зростання.

Таблиця 4.3

Морфометричні параметри дерев *Betula pendula* Roth на Петрівському відвалі, що мають найбільші розміри

№ дерева	D ₀ , см	D ₁ , см	h _д , м	S _{кр} , м ²	V _{кр} , м ³	Кількість скелетних гілок у кроні	
						з однієї сторони	усіх гілок
1	32,5	21,3	14,5	56,7	411,2	29	64
2	34	25	16	63,6	508,7	30	74
3	40	21	15	103,8	778,6	31	69
4	41	24	16,5	122,7	1011,9	35	87

Примітка: D₀ – діаметр стовбура на рівні кореневої шийки, D₁ – діаметр стовбура на рівні 1,3 м, h_д – висота дерева, S_{кр} – площа проєкції крони, V_{кр} – об'єм крони.

На залізорудних відвалах Криворіжжя ростуть переважно одноствурові дерева *B. pendula*, однак зустрічаються особини з іншими життєвими формами. Відповідно до класифікації О. О. Чистякової [303] виявлені поростеутворюючі, небагато- (з 2–3-ма стовбурами) та багатостовбурові дерева *B. pendula* (більше 3-х стовбурів) (Додаток В. 1–3) [236]. Такі морфоструктурні видозміни відбуваються за рахунок розвитку нових структур (стовбурів, стовбурців) із сплячих чи додаткових бруньок [188, 303]. Із досліджених життєвих форм в 11 локусах найбільше зустрічалися небагатостовбурові дерева, кількість яких становила 31 шт., а найменше – поростеутворюючі – 8 шт. Чисельність багатостовбурових дерев була на 12,9% менше, ніж небагатостовбурових та у 3,4 раза більше порівняно поростеутворюючими деревами [168, 236]. Подібні видозміни морфоструктури *B. pendula* відбуваються завдяки пластичності дерев та є проявом поліваріантності індивідуального розвитку. Поява вегетативного росту разом з насінневою продукцією забезпечують перерозподіл ресурсів між органами, що проявляється як в онтогенезі, так і під впливом зовнішніх умов [127]. Сукупність подібних морфологічних перебудов у рослинному організмі є найважливішим механізмом адаптації *B. pendula* в екстремальних

екологічних умовах для подальшого існування на техногенно порушених ландшафтах Криворіжжя [148, 194, 223].

Рослини *B. pendula*, які досягли репродуктивного віку, активно плодоносять. За допомогою вітру горішки легко переносяться на великі відстані у різні сторони від материнського дерев, приживаються та утворюють самосів, який рясно зростає на північній, західній та східній частинах відвалів та значно зменшується на південній (рис. 4.2).

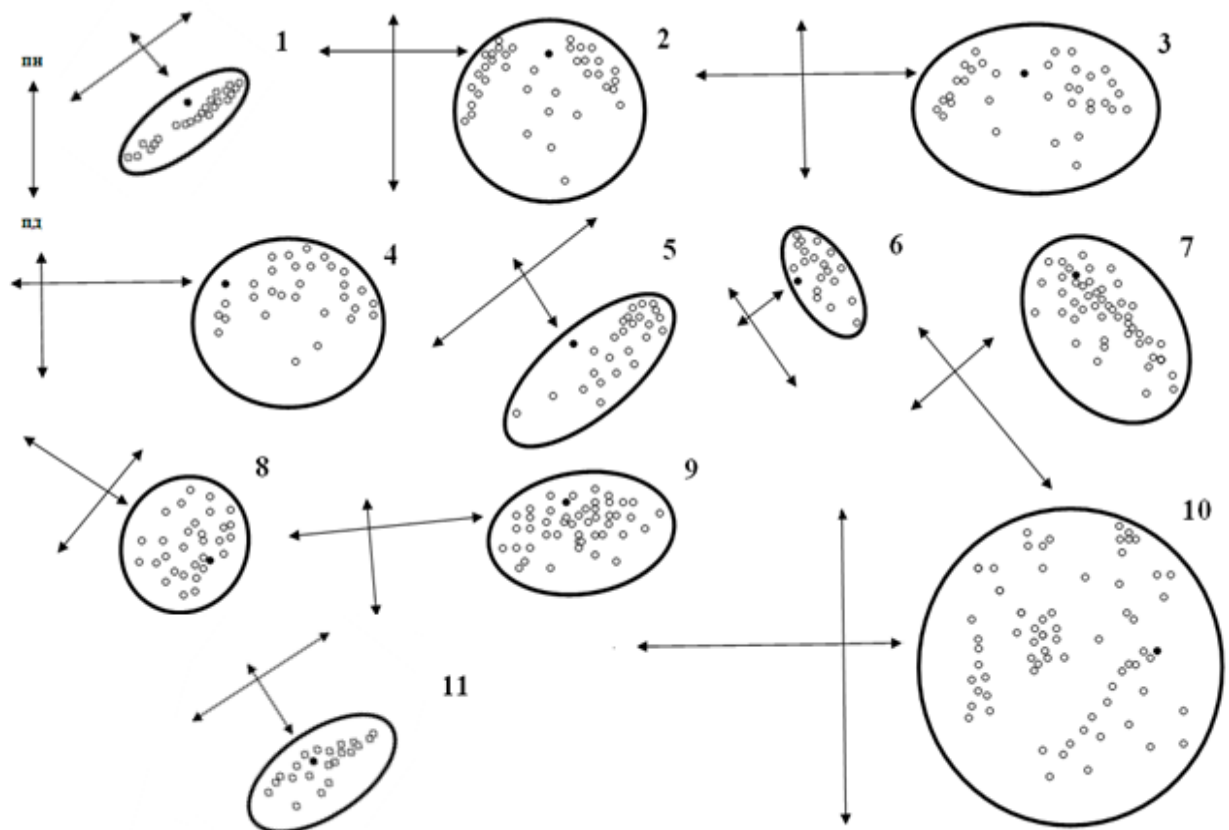


Рис. 4.2. Схема напрямку поширення самосіву (\circ) *Betula pendula* Roth від материнських особин (\bullet) в 11 популяційних локусах на залізорудних відвалах Криворіжжя: 1–2 – Петрівському; 3–5 – автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру; 6–8 – відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»; 9–11 – на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»

У досліджених 11 локусах переважаючий напрям поширення самосіву має односторонній (№ 4, 5, 7), двосторонній (№ 1, 2, 3, 11) та різносторонній

(№ 6, 8, 9, 10) характер. Розповсюдження самосіву багато в чому залежить від рози вітрів, ефективності поширення плодів на певну відстань і мозаїчності едафічних умов [168].

Суттєву роль серед різних ознак, які характеризують популяцію, є віковий розподіл, що відображає її структурно-функціональний стан у конкретних умовах середовища [130, 153]. Залежно від зміни екологічних умов, показники вікових груп можуть змінюватись нерівномірно, стрибками або навіть втрачати певні вікові стадії [93]. Так, при дослідженні вікової структури *B. pendula* в усіх 11 локусах на момент досліджень були відсутні особини старогенеративного, субсенільного та сенільного вікових станів (табл. 4.4). За класифікацією Т. О. Работнова [251] десять локусів є інвазійними (П1–П10), в яких виявлено найбільше особин прегенеративного віку і лише один (П11) – нормальний, де переважають середньогенеративні особини. У прегенеративному періоді *B. pendula* серед чотирьох вікових станів найбільше виявлено проростків: у П1–П10 частка їх варіювала від 19,3% (П2) до 44,0% (П7). Мінімальну кількість проростків відмічено в останньому локусі (П11), частка яких становила лише 4%. Слід зазначити, що в усіх досліджених популяційних локусах найменше виявлено віргінільних та молодих генеративних рослин, їх кількість варіювала в межах 1,4–7,7% та 0,2–13,1% відповідно. Відсоток інших трьох вікових груп у різних популяційних локусах досягав 27,3–56,0%. Це свідчить про те, що самовідновлення не має стабільного щорічного характеру [168].

Переважаання особин прегенеративного періоду майже в усіх локусах вказує на те, що майже всі вони є молодими, як і чотири популяції загалом. Це підтверджується показниками індексу віковості (Δ) О. О. Уранова [287], який варіював від 0,04 до 0,31 та індексу ефективності (ω) Л. А. Животовського [114], що змінювався в межах від 0,13 до 0,67. За класифікацією «дельта-омега» десять з одинадцяти локусів вважаються молодими (П1–П10) і лише один – зріючий (П11).

Наявність самосіву є важливим та цінним показником, оскільки саме він забезпечує процеси самопідтримання популяції у просторі і часі. Тому

Таблиця 4.4

Вікова структура *Betula pendula* Roth в популяційних локусах на залізородних відвалах Криворіжжя

Відвал	Популяційні локуси	Віковий спектр <i>Betula pendula</i> (у %) у популяційних локусах						Δ	ω	Δ/ω	Jв
		<i>pl</i> *	<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂				
Петрівський	П1	23,7	22,7	5,2	3,1	4,1	41,2	0,23	0,49	м	0,68
	П2	19,3	17,2	15,2	3,4	13,1	31,7	0,21	0,48	м	0,80
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	26,1	25,7	5,4	3,6	1,8	37,4	0,21	0,44	м	0,89
	П4	27,0	20,0	10,4	3,5	4,3	34,8	0,20	0,44	м	0,87
	П5	27,2	20,9	22,8	4,4	3,8	20,9	0,14	0,32	м	1,95
№7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П6	39,7	25,8	19,3	1,4	0,5	13,3	0,09	0,21	м	3,39
	П7	44,0	28,6	19,0	3,7	0,2	4,5	0,04	0,13	м	10,89
	П8	42,6	34,6	12,4	3,8	0,6	6,0	0,05	0,14	м	7,75
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	П9	28,0	17,1	27,3	6,0	0,8	20,8	0,13	0,31	м	2,34
	П10	25,1	19,3	13,0	5,3	3,1	34,2	0,20	0,43	м	1,01
	П11	4,4	11,0	16,5	7,7	4,4	56,0	0,31	0,67	з	0,58

Примітка: *pl* – проростки, *j* – ювенільні, *im* – іматурні, *v* – віргінільні, *g*₁ – молоді генеративні, *g*₂ – середньогенеративні рослини, Δ – індекс віковості, ω – індекс ефективності, Δ/ω тип популяційного локусу за класифікацією «дельта-омега»: м – молодий, з – зрілий, Jв – індекс відновлення.

для з'ясування можливості популяції до самовідновлення було використано індекс відновлення, запропонований Л. О. Жуковою [120]. Цей індекс показує, яку частину генеративної фракції після її відмирання здатний відновлювати підріст або скільки нащадків у даний момент часу доводиться на одну генеративну особину [119]. Найвищий показник цього параметру відмічений у популяційному локусі №7, який склав 10,89 та є наймолодшим за значеннями індексів віковості й ефективності, а мінімальний – у П11, що становив 0,58. За показниками індексу відновлення визначено, що в П5–П10 рослини *B. pendula* здатні до повного

самовідновлення, а у решти (П1–П4 та П11) підріст здатний відновити від 58% до 89% особин генеративного віку після їх відмирання [168].

Не менш вагомим при дослідженні популяційної структури є встановлення рівня життєвості рослин, тобто їх віталітету, що відображає різні умови зростання, ефективність використання поживних речовин з місць існування та стійкість окремих особин у стресових умовах [130]. Аналіз віталітетної структури показав, що в усіх досліджених локусах наявні особини високого, середнього та низького рівнів життєвості (табл. 4.5). За розрахунками індексу якості (Q) виявлено, що 72,7% популяційних локусів *B. pendula* (П1–П8) мають процвітаючий віталітетний тип, останні три локуси (П9–П11) є депресивними. З усіх 11 локусів у П1 встановлено найвищий ступінь процвітань ($I_q=5,75$), а у П10 – найнижчий ($I_q=0,25$), в якому рослини є найбільш пригніченими. Відмінності віталітетної структури у різних локусах можуть бути пов'язані з місцем розташування рослин та різноякісністю породного складу відвалів (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.5

Віталітетна структура *Betula pendula* Roth у різних популяційних локусах на залізородних відвалах Криворіжжя

Відвал	Популяційні локуси	Клас віталітету			Q	I _q	IVC	Віталітетний тип
		с	б	а				
Петрівський	П1	0,08	0,12	0,80	0,46	5,75	0,72	процвітаючий
	П2	0,25	0,22	0,53	0,38	1,50	0,70	процвітаючий
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	0,32	0,26	0,41	0,34	1,05	0,53	процвітаючий
	П4	0,29	0,40	0,31	0,36	1,23	0,56	процвітаючий
	П5	0,28	0,49	0,23	0,36	1,27	0,53	процвітаючий
№7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П6	0,28	0,30	0,42	0,36	1,28	0,56	процвітаючий
	П7	0,30	0,25	0,45	0,35	1,19	0,58	процвітаючий
	П8	0,31	0,14	0,22	0,35	1,14	0,61	процвітаючий
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П9	0,48	0,36	0,16	0,26	0,54	0,42	депресивний
	П10	0,67	0,13	0,20	0,17	0,25	0,38	депресивний
	П11	0,64	0,24	0,13	0,18	0,29	0,37	депресивний

Примітка: с – низький клас віталітету, б – середній, а – високий; Q – показник якості, I_q – ступінь процвітань, IVC – індекс віталітету.

За загальним показником віталітетної структури *B. pendula* на чотирьох залізородних відвалах Криворіжжя встановлено, що переважна більшість рослин віднесені до високого рівня життєвості – 42%, а індекс якості ($I_q = 0,34$) показав, що популяції є процвітаючими, тому мають перспективу в подальшому їх розвитку (рис 4.3).

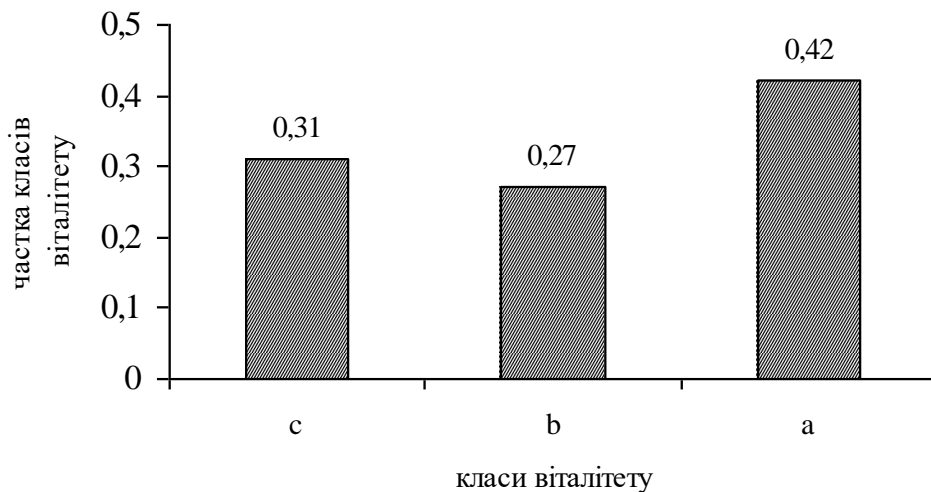


Рис. 4.3. Віталітетний спектр популяцій *Betula pendula* Roth на залізородних відвалах Криворіжжя: c, b, a – класи віталітету: низький, середній та високий відповідно

Індекс віталітету (IVC) в усіх одинадцяти локусах варіював від 0,72 (П1) до 0,37 (П11) (див. табл. 4.5). Найбільш сприятливі умови для зростання рослин наявні у двох популяційних локусах (П1-П2) на Петрівському відвалі. Отримані дані свідчать про те, що рівень життєвості особин залежить від умов зростання та фізико-хімічних властивостей субстрату. Однак, незважаючи на мозаїчність субстрату на залізородних відвалах Криворіжжя, процеси самовідновлення і самопідтримання *B. pendula* все ж реалізуються в усіх локусах.

Загалом локальні популяції, що сформувались в специфічних умовах залізородних відвалів Криворіжжя, є досить стійкими та здатні до самовідновлення.

4.2. Розвиток кореневої системи різновікового самосіву *Betula pendula*

Більшість досліджень із вивчення особливостей розвитку деревних рослин у специфічних умовах існування спрямовані на встановлення адаптивних реакцій, що відбуваються в надземній частині. Проте, стійкість і успішне зростання рослинного організму залежать і від особливостей формування та будови коренів, а також їх систем [16].

Корінь – один з основних органів вищих рослин, що виконує багато життєво важливих функцій: прикріплення до субстрату, поглинання з нього води і мінеральних та органічних речовин, транспортування їх до інших частин рослин. Крім того, корінь є органом первинного перетворення ряду мінеральних речовин, які поглинаються, і синтезу органічних сполук (амінокислот, алкалоїдів і ін.), що використовуються іншими частинами рослин. Сукупність усіх коренів в однієї особини утворюють кореневу систему, яка виділяє в навколишнє середовище цукор, органічні кислоти, солі фосфору, калію та інших елементів [257].

Коренева система *B. pendula* є пластичною, у специфічних умовах зростання вона здатна змінювати морфоструктуру коренів під впливом різних екологічних факторів: кліматичних умов, фізико-хімічних властивостей субстрату, рівня його вологозабезпечення, токсичності тощо [81, 151, 158, 417]. До того ж, коріння є першим бар'єром надходження металів з ґрунту в рослину та саме корінь бере на себе основну функцію по їх накопиченню та детоксикації. За даними Р. Х. Гініятулліна та А. Ю. Кулагіна [75], субстрат на відвалах містить велику концентрацію важких металів, високий вміст яких на глибині 0–10 см знижує утворення тонких коренів *B. pendula*. Виходячи із вищезазначеного, слід зауважити, що розвиток потужної кореневої системи рослин в умовах промислових відвалів є однією з основних умов адаптації *B. pendula* до цих новостворених екотопів [82].

У природних умовах коренева система *B. pendula* є потужною, не має головного стрижня, косо йде всередину, що забезпечує хорошу вітростійкість. Безліч бічних коренів розходяться майже горизонтально, близько до поверхні ґрунту [15, 115, 312]. І. Н. Рахтєєнко [253] у своїх дослідженнях зазначав, що головна маса (78%) коренів *B. pendula* знаходиться на глибині 0–20 см. Її коренева система характеризується дуже розвиненими сіточками світло-сірого кольору, які густо переплітаються в ґрунті. Великі корені завжди жорсткі, круглі, чорного кольору. Корені *B. pendula* активно і досить швидко проникають в ґрунт.

На техногенно порушених ландшафтах у *B. pendula* найчастіше формується поверхнева коренева система не глибше 20–30 см, особливо на відвалах, складених з токсичних порід [20].

За даними І. В. Калашникової та С. В. Мігаліної [148], на зольних субстратах спостерігалася найбільш протяжна коренева система *B. pendula* та високі значення маси тонких коренів, ніж у контролі. Корені розподілялися переважно в горизонтальній орієнтації. У віці 14 років дерева *B. pendula* мали 6–16 добре розвинених горизонтальних коренів 1-го порядку, розташованих головним чином в 20–25-сантиметровому шарі субстрату, їх середня довжина становила в контролі 2,4–2,5 м, в культурах – 2,2–2,6 м, а на "чистій" золі – 3,1–3,3 м. На відстані 0,1–0,3 м від шийки кореня починалося інтенсивне розгалуження коренів *B. pendula*. На зольному субстраті в порівнянні з контролем *B. pendula* найбільш крилату кореневу систему, що займала площу (S_{ks}) близько 24 м² і об'єм ґрунтового простору (V_{ks}) 6–10 м³. Формування більш компактною кореневої системи в контролі ($S_{ks} = 11–12$ м², $V_{ks} = 2–3$ м³) може визначатися не тільки едафічними умовами, а й високою конкуренцією в природному насадженні.

Дослідження *B. pendula* на залізородних відвалах Криворіжжя показали, що вже з самого початку розвитку рослинного організму відбувається ріст не тільки надземної, а й підземної частини. Корені збільшуються в розмірах, поширюються переважно в горизонтальному

напрямку та займають переважно верхні шари субстрату (рис. 4.4, Додаток Г) [167].



А

Б

Рис. 4.4. Коренева система самосіву *Betula pendula* Roth: А – на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»; Б – на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»

Корені *B. pendula* мають здатність самостійно прокладати собі ходи в ущільнених горизонтах [253]. Для кращого проникнення в субстрат у рослин формуються корені різного діаметра та довжини (табл. 4.6).

У ході досліджень у 1-5-річного самосіву *B. pendula* корені були розподілені на 6 фракцій: менше 1 мм, 1-2 мм, 2-5 мм, 5-10 мм, 10-50 мм та більше 50 мм. Так, середня їхня довжина у різних фракціях на шести відвалах змінювалася в межах від 1,0 см (у 4-річного самосіву на відвалі шахти «Більшовик») до 85,4 см (у 5-ти річних рослин на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»).

У різновікового самосіву довжина коренів менше 1 мм варіювала від 1,1 см до 18,2 см, у коренів діаметром 1–2 мм та 2–5 мм цей параметр не перевищував 30,2 см, а в інших фракціях досягав 39,6 см (у фракції 5-10 мм), 41,8 см (у фракції 10-50 см) та 85,4 см (у фракції >50 мм).

На відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» порівняно з іншими у кореневій системі самосіву виявлено найменше фракцій: у 1-2-річних рослин – 3, у 3-4-річних – 4, а у 5-річних – 5, тоді як на інших досліджених відвалах 5 фракцій – у 1-річного самосіву та по 6 – у 2-5-річних рослин.

Таблиця 4.6

Довжина коренів різних фракцій самосіву *Betula pendula* Roth на залізорудних відвалах Криворіжжя

Відвал	Вік	Середня довжина коренів різних фракцій, мм					
		<1	1-2	2-5	5-10	10-50	>50
Відвал шахти «Більшовик»	1	1,1±0,50	2,4±0,85	3,4±1,25	6,3±0,90	10,8±1,91	
	2	1,3±0,47	4,2±0,70	4,5±0,72	5,6±1,40	11,3±2,66	10,8±0,32
	3	1,5±0,58	3,0±0,65	11,3±4,60	6,5±0,47	6,1±1,06	21,4±7,82
	4	1,0±0,47	4,0±0,20	5,3±0,65	6,4±0,73	27,9±7,83	58,0±8,38
	5	1,8±0,27	5,0±0,35	14,4±2,99	39,6±12,92	41,8±13,13	26,4±6,35
Відвал шахти ім. Леніна	1	1,2±0,21	2,0±0,21	2,2±0,63	3,8±2,41	8,8±3,55	
	2	2,7±0,29	10,2±2,00	5,2±0,40	5,4±0,82	12,9±3,03	12,7±1,58
	3	2,1±0,58	3,6±0,52	3,3±1,35	3,8±0,43	13,3±3,31	42,1±16,51
	4	9,8±2,55	13,9±0,65	10,0±0,05	12,4±2,54	18,6±3,16	35,9±5,28
	5	5,9±1,35	8,6±1,75	13,6±1,69	13,9±1,27	20,7±2,39	36,8±1,53
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	1	2,0±0,26	4,1±2,30	6,6±1,66	7,8±0,65	7,9±1,20	
	2	6,2±0,05	6,9±1,35	10,3±1,22	9,3±1,29	10,9±2,31	14,9±0,27
	3	5,0±0,15	9,7±1,15	11,3±3,72	13,3±1,43	16,4±2,67	27,8±8,33
	4	10,1±1,40	12,8±0,68	15,5±1,54	25,0±5,10	25,7±4,30	19,5±4,47
	5	18,2±1,00	12,6±0,25	21,5±8,70	38,6±2,55	34,1±11,04	19,9±1,55
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	1	2,3±0,35	6,6±2,10	15,0±2,50	13,7±2,70	23,0±4,69	
	2	2,6±1,00	3,3±4,11	5,1±1,40	8,3±0,40	16,1±2,29	30,4±1,70
	3	1,6±0,20	2,8±0,23	6,8±0,75	16,3±2,76	17,3±2,70	32,9±1,60
	4	1,3±0,23	4,9±0,30	18,0±3,84	14,4±1,29	33,0±6,13	70,4±5,95
	5	2,6±0,65	5,1±0,70	11,7±0,55	16,7±1,15	28,8±4,39	85,4±9,42
Петрівський	1	5,4±1,11	2,4±0,15	5,1±0,76	4,5±0,98	14,7±3,24	
	2	4,2±0,65	2,2±0,40	6,1±0,89	6,3±0,97	10,1±2,64	11,3±1,25
	3	5,0±0,09	6,3±1,27	10,4±1,48	11,1±1,28	24,0±4,68	24,0±4,45
	4	4,6±1,65	4,0±0,56	9,8±2,32	12,2±1,73	20,9±3,48	22,0±1,32
	5	5,9±2,25	10,5±1,49	10,5±1,04	13,0±1,44	20,3±3,33	33,1±4,77
Відвал №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	1	3,3±0,28	3,9±0,70	10,1±2,70			
	2	5,1±0,28	12,8±2,44	10,3±2,99			
	3	5,6±0,23	13,7±2,30	18,8±5,64	17,3±1,85		
	4	5,7±0,36	10,1±1,53	12,6±1,50	38,7±16,45		
	5	8,5±0,56	14,0±1,35	30,2±6,96	9,0±0,25		7,3±0,52

Мінімальні показники довжини коренів серед різних фракцій найчастіше зустрічались у різновікового самосіву *V. pendula* на відвалах шахти «Більшовик» та ім. Леніна, утворених шляхом підземного видобутку залізної руди, а максимальні – на відвалах центральної частини Криворіжжя – «Петрівський-2» та №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК».

На шести залізорудних відвалах Криворіжжя у 1-5-річного самосіву різниця між показниками спостерігалася не тільки за довжиною коренів шести фракцій, а й була відмічена за різними параметрами всієї кореневої системи (табл. 4.7). Так, наприклад, на шести відвалах у 1-річного самосіву висотою 8,9–21,0 см з діаметром стовбура біля кореневої шийки 0,2–1,2 см довжина кореневої системи становила 6,6–44,2 см, маса – 0,3–2,1 г, об'єм – 5,2–98,9 см³, а площа поверхні, яку вона займає – 12,0–165,1 см². У 2-річних рослин показники цих параметрів були вище у 1,3–3,3 раза, 5,8–59 разів, 1,3–10,5 раза та 1,0–29,6 раза відповідно. В подальшому, практично всі показники за різними параметрами з кожним роком підвищувались у 1,0–3,7 раза залежно від місця зростання самосіву. Винятком були 3-річні рослини на Петрівському відвалі, у яких маса та площа поверхні порівняно з 2-річним самосівом зменшилася на 7,9% та 0,2%, що може бути пов'язано з фізико-механічними особливостями субстрату та рівнем вологозабезпечення. Загалом найменші морфометричні показники спостерігалися переважно на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру (ПрАТ «ПівнГЗК»), де субстрат складається із сланців, кварцитів з елементами суглинистих ґрунтів та на відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» складеного з різноуламкових кварцитів та сланців, а найбільші – на відвалі шахти ім. Леніна, субстрат якого містить переважно дрібноуламкові кварцити та сланці з інтенсивним темно-червоним кольором. Дослідження різновікового самосіву на шести відвалах показали, що чим більша довжина коренів, тим менші морфоструктурні параметри кореневої системи. Яскравим прикладом серед усіх досліджених рослин є різновіковий самосів із відвалу №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК», у якого спостерігались переважно

максимальні показники довжини коренів різних фракцій та найвища, або близька до максимальних значень, площа проєкції кореневої системи, ніж на інших відвалах, проте менша довжина всієї кореневої системи, її маса і

Таблиця 4.7

Морфометричні параметри кореневої системи самосіву *Betula pendula*
Roth на залізородних відвалах Криворіжжя

Відвал	Вік	h, см	D, см	Морфометричні параметри кореневої системи			
				L, см	m, г	V, см ³	S, см ²
Відвал шахти «Більшовик»	1	13,8±2,60	1,2±0,25	11,6	0,8	9,1	42,8
	2	39,0±4,70	1,8±0,35	38,1	10,0	29,9	87,9
	3	65,9±1,20	2,3±0,15	142,5	28,4	111,9	187,6
	4	83,0±3,20	3,7±0,65	152,7	39,6	119,9	252,7
	5	103,1±5,60	4,2±0,70	177,0	80,4	139,0	447,3
Відвал шахти ім. Леніна	1	8,9±0,95	0,9±0,35	44,2	0,7	9,4	12,0
	2	34,4±5,85	1,1±0,10	125,9	41,3	98,9	354,9
	3	51,4±2,85	1,3±0,10	153,3	57,3	120,3	416,8
	4	79,0±3,46	1,7±0,14	157,0	94,3	123,3	521,5
	5	109,3±6,75	2,2±0,30	269,3	185,1	211,4	610,7
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	1	12,0±5,45	1,0±0,05	7,3	0,3	5,8	84,2
	2	26,6±0,45	1,2±0,40	25,6	5,6	20,1	86,4
	3	48,6±7,64	1,5±0,42	53,6	16,1	42,1	93,6
	4	78,6±2,83	1,7±0,15	83,0	21,2	65,2	183,5
	5	96,5±4,50	1,9±0,65	91,5	27,7	71,8	229,7
«Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	1	21,0±3,00	1,0±0,25	27,8	2,1	21,8	126,8
	2	31,5±1,92	2,6±0,46	41,0	23,3	33,8	177,2
	3	60,3±1,90	3,4±1,45	101,1	32,6	79,4	304,7
	4	82,0±3,00	3,7±1,50	168,5	69,3	132,4	321,3
	5	100,3±2,13	4,0±0,60	191,6	85,4	150,4	732,4
Петрівський	1	20,6±4,65	0,5±0,30	6,6	1,3	5,2	54,2
	2	39,7±1,15	2,8±2,05	24,1	9,0	18,9	134,0
	3	66,3±3,29	3,6±0,37	22,2	25,7	27,5	133,7
	4	83,3±1,70	4,4±0,64	55,7	30,5	43,7	195,8
	5	128,5±9,19	4,6±1,70	104,0	99,8	87,0	211,7
Відвал №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»	1	11,7±0,60	0,2±0,02	6,6	0,9	5,2	165,1
	2	32,5±4,55	0,5±0,04	8,7	5,2	6,8	229,0
	3	51,4±3,85	0,8±0,03	15,4	18,3	21,2	431,6
	4	70,4±2,60	1,5±0,44	39,8	36,2	31,3	459,7
	5	117,5±2,50	2,7±0,60	68,1	49,2	53,5	602,8

Примітка: h – висота самосіву; D – діаметр стовбура на рівні кореневої шийки самосіву; L – довжина кореневої системи; m – маса; V – об'єм; S – площа поверхні.

об'єм порівняно з іншими дослідженими особинами. Різниця між показниками біометричних параметрів кореневої системи *B. pendula* на

різних відвалах свідчить про те, що в таких специфічних умовах на ріст і розвиток самосіву досліджуваного виду впливає комплекс факторів: місцезоташування самосіву, гранулометричний склад субстрату, освітлення, вологість, наявність-відсутність ґрунтового та рослинного покриву, висота та кут нахилу схилу тощо. Проте, незважаючи на досить незвичні для *B. pendula* умови зростання, завдяки морфоструктурним змінам кореневої системи, вона може успішно заселяти техногенно порушені ландшафти та активно розвиватись в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя.

І. І. Коршиков та ін. [165] зазначають, що особливості розвитку кореневої системи рослини з насіння, яке випадково потрапило на відвал, пов'язані зі сприятливими місцями проживання і видовими можливостями перебудовувати архітекtonіку коренів залежно від ґрунтово-гідрологічних умов. Активний розвиток поверхневої горизонтально орієнтованої в одній-двох площинах кореневої системи може бути свідченням сприятливості локалітету по комплексу еколого-едафічних умов для формування бічних коренів саме в цих напрямках. Зміна орієнтації коренів деревних рослин у породі промислових відвалів у відповідь на дію різних односторонньо пригнічуючих факторів едафотопу є специфічною.

Розташування коренів ближче до поверхні – це прояв адаптивної стратегії виду для максимально ефективного використання оптимального температурного рівня при достатній вологозабезпеченості у весняний і осінній періоди. Поверхнєве розташування кореневої системи також може бути пов'язано з можливістю окремих видів використовувати конденсовану вологу на породі відвалів, яка може утворюватися в теплу пору року через різницю між температурами повітря і породи в темний час доби [165].

Висновки до розділу 4:

1) Виявлено, що *B. pendula* є активним піонером на залізорудних відвалах Криворіжжя, яка здатна до насінневого самовідновлення. Високий рівень приживання самосіву забезпечує формування локальних популяцій,

однак, неоднорідність едафічних умов призводить до тимчасової ізоляції поселень *B. pendula* та формування окремих локусів, що мають різні розміри, мікроумови тощо.

2) Встановлено, що в умовах відвалів у *B. pendula* спостерігаються зміни морфоструктурних параметрів – поява дерев з високою протяжністю крони, поростеутворюючих, небагато- та багатостовбурових особин, що є проявом адаптивної реакції на техногенно порушених територіях.

3) Відмічено, що в усіх локусах рослини *B. pendula* генеративного віку активно плодоносять, плоди поширюються за допомогою вітру, швидко приживаються та формують самосів, який розповсюджується переважно в одно-, дво- та різносторонньому напрямках і залежить від ефективності поширення плодів, рози вітрів і мозаїчності едафічних умов.

4) Дослідження вікової структури *B. pendula* в 11 популяційних локусах показали, що 10 з них є молодими і 1 зрілий, з яких рослини у 6 локусах здатні до повного самовідновлення, а в інших 5-ти підріст спроможний відновити лише 58–89% особин генеративного віку після їх відмирання.

5) Аналіз віталітетної структури показав, що 8 популяційних локусів належать до процвітаючого типу, а 3 – до депресивного, що пов'язано з відмінностями у породному складі відвалів. За індексом віталітету, який змінювався від 0,72 до 0,37, виявлено, що в різних локусах наявні неоднакові умови зростання.

6) Виявлено, що *B. pendula* на залізородних відвалах Криворіжжя формує поверхневу кореневу систему, основна маса якої зосереджена у верхніх шарах субстрату (0–30 см).

7) Встановлено, що довжина коренів у самосіву *B. pendula* в різних фракціях на шести відвалах змінювалася в межах від 1,0 см до 85,4 см. Найменше фракцій у кореневій системі самосіву *B. pendula* виявлено на відвалі №7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК: у 1-2-річних рослин – 3, у 3-4-річних – 4, а у 5-річних – 5, тоді як на інших відвалах у 1-річного самосіву

виявлено 5 фракцій, а у 2-5-річного – всі 6, що пов'язано з фізико-хімічними особливостями субстрату.

8) Відмічено, що на різних відвалах морфометричні параметри кореневої системи різновікового самосіву варіювали в межах 6,6–269,3 см – довжина, 0,3–185,1 г – маса, 5,2–211,4 см² – об'єм, 12,0–732,4 см³ – площа поверхні. Виявлено, що у переважній більшості випадків при меншій довжині коренів і площі поверхні кореневої системи, інші параметри (довжина кореневої системи, маса, об'єм) збільшувались.

При написанні розділу 4 були використані наступні посилання:

167. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ)*. Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41.
168. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Популяційна структура *Betula pendula* (*Betulaceae*) на залізородних відвалах Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, Вип. 2. С. 90–103. DOI: 10.15407/ukrbotj77.02.
231. Петрушкевич Ю. М. Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін: зб. ст. міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (17–21 вересня 2017 р., м. Одеса)*. Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.
236. Петрушкевич Ю. М. Морфоструктурні зміни *Betula pendula* Roth на залізородних відвалах Кривбасу. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК:*

- збірник наукових праць за результатами роботи VI міжнародної науково-технічної конференції (м. Кривий Ріг, 22 листопада 2019 року). Кривий Ріг, 2019. С. 195–196.
239. Петрушкевич Ю. Н. Самовозобновление берёзы повислой на отвалах Кривого Рога. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України: матеріали міжнародної наукової конференції (25–27 жовтня 2016 р., м. Дніпропетровськ). Дніпропетровськ : Ліра, 2016. С. 53–54.*
442. Petrushkevich Yu. *Betula pendula* on the iron ore dumps of the Kryvyi Rih. *Applied Biotechnology in Mining: Agenda of the International Conference (25–27th April, 2018). Dnipro, 2018. P. 35.*

РОЗДІЛ 5

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕПРОДУКТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ *BETULA PENDULA* ROTH В УРБОТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

5.1. Залежність чоловічої сфери рослин від ступеня і характеру забрудненості середовища

Репродуктивна система є найважливішим елементом біології рослин, для кожного виду вона індивідуальна та характеризується різними параметрами органів розмноження. В умовах забруднення за дії шкідливих викидів у рослин знижується репродуктивна функція [216, 418]. Їхня генеративна сфера вважається однією з найбільш чутливих у рослинному організмі до впливу поллютантів [136], незважаючи на те, що основна частка забруднюючих речовин накопичується у вегетативних органах [146, 499]. Токсичні викиди в умовах високого рівня техногенного навантаження спричиняють порушення початкових етапів мікро- та макроспорогенезу, які в подальшому призводять до дефектів ембріогенезу [136].

В. А. Геодакян [71] зазначав, що у роздільностатевих популяціях особини чоловічої статі володіють більшою фенотипічною різноманітністю, ніж жіночі, оскільки вони першими зазнають впливу екстремальних умов середовища та ефективніше передають потомству зміни в доквіллі. В оптимальних умовах кількість особин чоловічої статі зменшується, а в екстремальних, навпаки, збільшується. Подібну тенденцію можна відмітити і у перехреснозапилених видів, зокрема й у *B. pendula*: якщо на приймочку маточки потрапляє велика кількість пилку – це свідчить про сприятливі умови середовища, а якщо невелика – про погіршені. Виходячи із вищевказаних тверджень, можна зазначити, що пилок, як елемент чоловічої генеративної сфери рослин, несе важливу інформацію про умови довкілля, тому він є важливим об'єктом при проведенні екологічних досліджень.

5.1.1. Морфометричні параметри тичинкових сережок

B. pendula, як анемофільний вид, продукує велику кількість пилку [224], який знаходиться у тичинках чоловічих квіток, що розташовані групами по 2-3 шт. та зібрані в суцвіття – сережку [75]. Тичинкові сережки видовжено-циліндричні, повислі, розташовані на кінцях пагонів по 2-4 шт. [36, 224].

О. В. Єрещенко [107], досліджуючи вплив вихлопних газів автотранспорту на генеративні органи *B. pendula* в умовах Барнаулу, визначила незначне варіювання показників довжини тичинкових сережок – від 37,9 мм до 55,1 мм і їх ширини – від 0,35 см до 0,49 см та не виявила достовірних відмінностей між ними. Вона зазначила, що ці параметри не є індикаторними для оцінки стану довкілля.

На восьми дослідних ділянках у Кривому Розі відбирали по 100 тичинкових сережок та вимірювали їх довжину та ширину. Результати досліджень показали, що довжина чоловічих суцвіть, яка змінювалась від 68,0 мм до 63,0 мм, поступово зменшувалась на 0,6–7,4% порівняно з контролем у різних місцях зростання (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Морфометричні параметри тичинкових сережок *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Довжина сережки, мм	Ширина сережки, мм
Незначний	1 (к)	68,0±1,09	5,1±0,07
	2	67,6±1,47	5,3±0,07
	3	67,5±1,03	5,5±0,08**
Помірний	4	64,1±1,67	5,6±0,10***
	5	66,8±1,23	5,8±0,10***
	6	65,0±1,51	5,5±0,08**
Високий	7	63,0±1,57**	5,7±0,11***
	8	64,3±1,40*	5,7±0,12***

Примітка: відмінності достовірні за t-критерієм Стьюдента при P = 95 % – *, P = 99 % – ** та P = 99,9 % – ***.

Достовірні відмінності цього показника відмічені лише у дерев, які зростають на ділянках з високим рівнем забруднення (д. д. №7 і №8), що в середньому були нижче на 6,4%, ніж у рослин з КБС (д. д. №1) [169, 443].

Протилежну тенденцію виявлено при дослідженні ширини тичинкової сережки, де з підвищенням рівня забруднення цей показник збільшувався на 3,9–13,7%. Достовірні відмінності порівняно з контролем (д. д. №1) відмічені на 6 дослідних ділянках. У дерев, які зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу (д. д. №4, №5, №7, №8) значення ширини тичинкової сережки суттєво відрізнялись на рівні 99,9%. Отримані дані свідчать про те, що ширина сережки є більш чутливим показником впливу аерополітантів в умовах забруднення, ніж їхня довжина [169, 443].

Таким чином, оцінюючи індикаторні властивості розмірів тичинкових сережок можна засвідчити, що суттєвий вплив на генеративні органи *B. pendula* в умовах Кривого Рогу мають токсичні викиди гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів, які спричиняють зміну їхніх розмірів і призводять до достовірного зменшення довжини та потовщення тичинкових сережок порівняно з рослинами КБС.

5.1.2. Морфологічні ознаки пилкових зерен

Як відомо, в екологічно несприятливих умовах у пилкових зернах рослин можуть відбуватись зміни в їх морфології [92, 453]. Середні розміри пилкового зерна неоднакові та змінюються в різні роки навіть у межах однієї особини [179] і залежать від місця збирання, освітленості, характеру ґрунтів [3], забрудненості середовища тощо [25].

Для дослідження морфометричних параметрів пилку *B. pendula* використовуються два параметри, які вважаються діагностичними: полярна вісь – пряма лінія між дистальним і проксимальним полюсами пилку та екваторіальний діаметр – перпендикулярна полярній осі пряма лінія в

екваторіальній частині пилку [446]. В. В. Смирнов [275] зазначав, що діаметр пилку *B. pendula* варіює в діапазоні 20–35 мкм.

Таблиця 5.2

Морфометричні параметри пилку *Betula pendula* Roth в умовах
м. Кривий Ріг

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Довжина полярної осі, мкм			Довжина екваторіального діаметра, мкм		
		M±m	min	max	M±m	min	max
Незначний	1 (к)	30,3±0,18	25,9	35,9	30,7±0,20	26,1	36,7
	2	30,0±0,19	24,7	34,3	30,4±0,17	25,0	35,5
	3	30,3±0,20	24,2	36,2	30,4±0,17	25,5	33,9
Помірний	4	29,4±0,19***	23,5	33,5	29,3±0,19***	22,7	35,7
	5	29,4±0,22**	23,4	36,0	29,4±0,21***	23,7	34,6
	6	29,0±0,18***	23,4	34,4	29,3±0,17***	24,8	34,0
Високий	7	29,1±0,22***	22,3	34,3	29,0±0,20***	22,7	33,5
	8	27,6±0,22***	21,7	32,0	28,3±0,20***	21,7	33,6

Примітка: Дані є статистично значущими за t-критерієм Стьюдента при P = 99 % – ** та P = 99,9 % – ***.

На восьми дослідних ділянках у Кривому Розі середні значення розмірів пилку *B. pendula* зменшувалися з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення (табл. 5.2). Найвищі морфометричні показники встановлені у пилкових зерен рослин КБС, середня довжина полярної осі яких складала 30,3 мкм, а екваторіального діаметра – 30,7 мкм. У дерев, які знаходяться на ділянках з помірним рівнем забруднення (д. д. №4–6) довжина полярної осі та екваторіального діаметра були меншими, ніж у дендрарії КБС (д. д. №1) у середньому на 3,4% та 4,5%, а у рослин, що ростуть зазнають високого негативного впливу аерополітантів (д. д. №7 і №8) – на 6,4% та 6,7% відповідно. Найменші розміри пилку, при цьому, виявлені у дерев досліджуваного виду, що зростають біля металургійного комбінату (д. д. №8), які були меншими на 8,9% та 7,8% відповідно порівняно з контролем (д. д. №1). Достовірні відмінності відносно ботанічного саду встановлені у п'яти насаджень, які зазнають впливу

вихлопних газів автотранспорту та токсичних викидів комбінатів (д. д. №4–8), що свідчить про негативну дію забруднюючих речовин на морфометричні параметри пилку *B. pendula*, які зменшувалися з підвищенням рівня забруднення. Визначено, що у пилку *B. pendula* дерев з різних місць зростання змінювалися не тільки його середні розміри, а й максимальні та мінімальні показники. На ділянках, що знаходяться в умовах незначного рівня забруднення (д. д. №1–3) найменші значення полярної осі та екваторіального діаметра варіювали в межах 24,2–25,9 мкм і 25,0–26,1 мкм відповідно. Серед них найвищі показники виявлені у рослин дендрарію КБС, біля автошляхів мінімальний розмір пилку був менше від контролю на 9,5% і 9,1%, а біля комбінатів – на 15,1% і 14,9% відповідно. Максимальні розміри пилку мали подібний характер змін: довжина полярної осі зменшувалася відносно контрольних значень до 10,9% у більшості насаджень, за винятком пилкових зерен взятих з парку Героїв АТО та по вул. Електрозаводська (д. д. №3 і №5), де їх показник був вище від контрольних на 0,3 мкм та 0,1 мкм відповідно. Екваторіальний діаметр пилку семи насаджень залежно від місця зростання зменшувався майже до 9% порівняно з дендрарієм КБС [169, 238].

Таким чином, отримані дані свідчать, що токсичні викиди комбінатів найбільше впливають на чоловічий гаметофіт *B. pendula*, що супроводжується зменшенням полярної осі та екваторіального діаметра пилку максимально до 8,9% та 7,8% відповідно.

5.1.3. Аномалії пилку

Техногенне забруднення суттєво впливає на морфологічну будову зовнішніх оболонок пилку, що призводить до появи різних аномалій [179]. Спектр морфологічних ушкоджень пилкових зерен залежить від характеру, інтенсивності шкідливих викидів і стійкості самого виду рослини [219]. Деякі автори виявили, що поблизу великих промислових підприємств кількість аномальних пилкових зерен значно збільшується [199].

Пилок *B. pendula* у сприятливих умовах, зазвичай, сплющений радіально-симетричний, ізополярний, сплюснуто-сфероїдальний. Має три округлі або овальні пори (апертури) діаметром близько 2-4 мкм, які розташовані зонально та дещо підняті над поверхнею пилкового зерна [3, 288]. У техногенно забрудненому середовищі у пилкових зерен спостерігається зміна кількості пор, поява або зникнення горбків або шипів на поверхні пилку, порушення симетрії тощо [33]. В. Н. Кобзар [155], досліджуючи аномалії пилку, згрупував порушення за певними ознаками. Відповідно до його класифікації зміни в морфологічній будові пилкового зерна розподіляються:

- за типами апертур;
- за скульптурою поверхні;
- за формою;
- формування конгломератів (злипання);
- деформація в результаті недорозвитку (стерильності) цитоплазми і ядра;
- порушення зовнішніх конструкцій шарів оболонки (повні або часткові розриви).

У ході проведених досліджень пилку *B. pendula* взятого з різних насаджень Кривого Рогу було виділено 12 видів різних аномалій, які розподілили на 5 типів залежно від певної ознаки (рис. 5.1). Так, пилкові зерна відрізнялись:

- 1) за розмірами: «карлик», «гігант» (рис. 5.1. (2,3));
- 2) за кількістю апертур: 2-, 4- 5- і багатоапертурні пилкові зерна (рис. 5.1. (4-7));
- 3) за симетрією: асиметричний пилок, пилок зерно з асиметричними апертурами (рис.5.1 (8, 9));
- 4) за архітектурою оболонки: з порушенням екзими та зморщений пилок (рис.5.1 (10, 11));

5) складні аномалії, у яких наявні 2 і більше патологій: 5-апертурне карликове пилкове зерно, пилкок з 4-ма асиметричними апертурами (рис. 5.1 (12, 13)).

На всіх дослідних ділянках *B. pendula* пилкові зерна з різними аномаліями зустрічалися з неоднаковою частотою (табл. 5.3). З 12 видів аномалій лише половина зафіксована у рослин з восьми місць зростання, які відносяться до чотирьох типів порушень: за розмірами («карлик», «гігант»), за кількістю апертур (пилкок з чотирма апертурами), за симетрією (асиметричний пилкок) та за архітектурою оболонки (зморщений пилкок і з порушенням екзини).

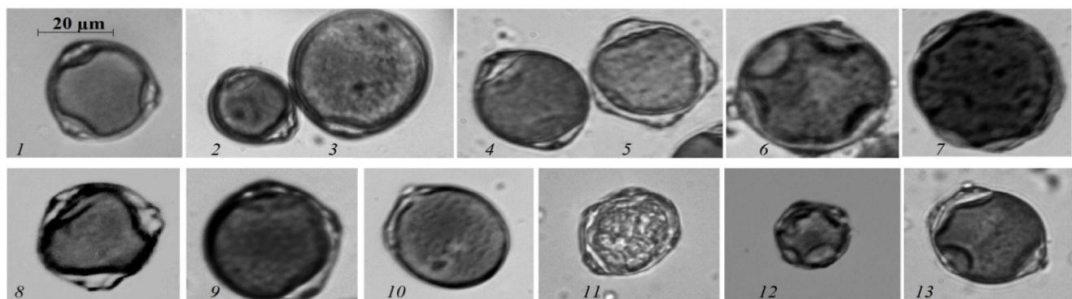


Рис. 5.1. Аномалії пилку *Betula pendula* Roth: 1- нормально розвинене пилкове зерно; 2–13 – морфологічно змінені пилкові зерна

Найбільший відсоток серед усіх аномалій у більшості насаджень мав пилкок з чотирма апертурами, який зустрічався з частотою 1,3-2,3% переважно у рослин, що зростають у зонах із незначним (д. д. №1–3) та високим рівнями забруднення (д. д. №7 і №8) – 3,1% та 2,0% відповідно. На ділянках №4–6, що знаходяться в умовах помірного рівня забруднення найбільша частка пилку з цим порушенням займала друге місце (1,2–1,4%) після асиметричного пилку, кількість якого варіювала від 1,8% до 3,3%. К. Анамтават-Джонсон та Л. Карлсдоттір [321] при дослідженні пилку *Betula nana* L. та *B. pubescens* також виявили, що пилкові зерна з чотирма апертурами є найпоширенішим видом порушення їхньої морфології.

Таблиця 5.3

Частота трапляння аномалій пилкових зерен *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, % (2017 р.)

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Кількість аномального пилку, %	Типи аномалій											
			за розмірами		за кількістю апертур				за симетрією		за архітектурою оболонки		складні	
			«карлик»	«гігант»	п.з. з 2-ап.	п.з. з 4-ап.	п.з. з 5-ап.	багатоап. п.з.	асиметричне п.з.	п.з. з асиметричними апертурами	зморщене п.з.	п.з. з порушеною екзиною	карликове п.з. з 5-ма апертурами	п.з. з 4-ма асиметричними апертурами
Незначний	1 (к)	3,5	0,5	0,2	-	1,9	0,1	-	0,3	-	0,2	0,3	-	-
	2	3,6	0,1	0,2	-	2,3	0,1	-	0,6	-	0,1	0,2	-	-
	3	4,8	0,5	0,2	0,1	1,3	0,1	-	1,2	-	0,1	1,3	-	-
Помірний	4	6,2	0,8	0,7	0,2	1,4	0,4	-	1,8	-	0,2	0,7	-	-
	5	6,7	1,0	0,2	0,1	1,4	0,1	-	2,3	-	0,4	1,2	-	-
	6	7,2	0,5	1,2	0,3	1,2	-	-	3,3	-	0,3	0,4	-	-
Високий	7	9,3	0,3	0,3	0,5	3,1	-	-	1,7	0,3	0,4	2,6	0,1	-
	8	11,1	1,2	1,8	0,5	2,0	0,2	0,3	2,0	0,5	0,9	1,3	-	0,4

Примітка: п.з. – пилкове зерно, ап. – апертура.

В умовах Кривого Рогу деякі види аномалій пилку *V. pendula* зустрічалися лише у тих деревних насадженнях, які зазнають впливу токсичних викидів комбінатів на ділянках з високим рівнем забруднення (д. д. №7 і №8). Так, наприклад, пилкове зерно з асиметричними апертурами виявлене у дерев, які зростають біля гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів (д. д. №7 і №8) у кількості 0,3% та 0,5% відповідно. Карликове пилкове зерно з п'ятьма апертурами відмічене лише на ділянці №7 – 0,1% (біля ПрАТ «ПівнГЗК»), а багатоапертурний пилкоз – 0,3% та пилкове зерно з чотирма асиметричними апертурами – 0,4% на ділянці №8 (біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») [169, 238].

Загальна частка аномального пилку на різних ділянках істотно варіювала та збільшувалася відповідно до підвищення рівня аеротехногенного забруднення. Найменший відсоток морфологічно зміненого пилку виявлений контролі (д. д. №1), який складав 3,5%. На інших ділянках в умовах незначного рівня забруднення (№2 і №3) цей показник збільшився у 1,2 раза, у рослин, що зростають на територіях з помірним (д. д. №4–6) та високим (д. д. №7 і №8) рівнями забруднення – у 1,9 раза та у 2,9 раза відповідно. Максимальна частка аномальних пилкових зерен при цьому спостерігалася у *V. pendula*, що зростає біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8), де спостерігається найвищий рівень техногенного впливу, та була у 3,2 раза більше, ніж у дерев з КБС (д. д. №1) [238].

Таким чином, отримані дані свідчать, що вихлопні гази автотранспорту та токсичні викиди комбінатів призводять до появи аномальних пилкових зерен *V. pendula*, кількість яких суттєво збільшується до 3,2 разів із підвищенням рівня аеротехногенного забруднення в умовах Кривого Рогу.

5.1.4. Фертильність та стерильність пилку

Успішність запліднення залежить від якості пилку, насамперед, його потенційної життєздатності або фертильності [76, 226]. Фертильним вважається пилкоз, протопласт якого заповнений крохмалем. У сприятливих

умовах майже всі пилкові зерна добре розвинені та характеризуються високою запліднюючою здатністю. Однак, під впливом різних факторів (погода, вологість повітря, засолення ґрунту тощо) фертильність пилку суттєво погіршується, що призводить до утворення безкрохмальних (стерильних) пилкових зерен [301, 385].

Одним із визначальних факторів, що істотно впливає на якість пилку є аеротехногенне забруднення. Доведено, що у придорожніх насадженнях у *B. pendula* збільшується кількість стерильних пилкових зерен порівняно з контрольними [33, 203]. Є дані й про погіршення якості пилку за дії токсичних викидів промислових підприємств у цього виду [135]. Результати наших досліджень, проведені на восьми дослідних ділянках на території Кривого Рогу, підтвердили цю тенденцію. У рослин восьми насаджень *B. pendula*, які зазнають різного впливу аерополіутантів виявлено зменшення кількості фертильного та збільшення стерильного пилку з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення (рис. 5.2).

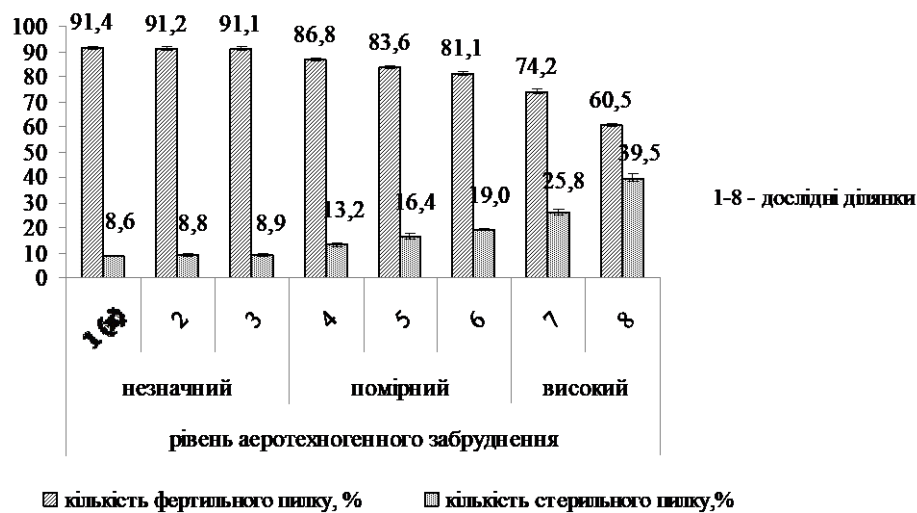


Рис. 5.2. Якість пилку *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2017 р.

Найбільшу частку потенційно життєздатного пилку виявлено на ділянках, що знаходяться в умовах незначного рівня забруднення – 91,1–91,4% (д. д. №1–3). У дерев, які зростають у зонах з помірним рівнем

забруднення відсоток фертильних пилкових зерен зменшився у середньому на 8,3% (д. д. №4–6), а за дії високого рівня забруднення (д. д. №7 і №8) – на 26,3%. Мінімальні значення при цьому відмічені у рослин, що зазнають шкідливих викидів металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8) – на 33,8% менше за контроль. Зі зменшенням кількості пилку з високою запліднюючою здатністю стрімко збільшувалася кількість стерильних пилкових зерен відносно рослин дендрарію КБС: на дослідних ділянках №4–6 частка його була в середньому вища 1,9 раза, а на ділянках №7 і №8 – у 3,8 раза [169, 238].

Додатковими параметрами, що відображають інтенсивність впливу аерополутантів на пилок рослин *B. pendula* є коефіцієнти стерильності (Ксп) та чутливості (Кч) [144] (рис. 5.3). Коефіцієнт стерильності розраховується, щоб з'ясувати, у скільки разів більше у дерев на дослідній ділянці нездатного до запліднення пилку, ніж у контролі. Так, на ділянках, що знаходяться в умовах незначного рівня забруднення (№2 і №3) значення цього параметру у дерев варіювали в межах 1,0–1,03, в умовах помірного забруднення (д. д. №4–6) становили від 1,51 до 2,21. Найвищі значення виявлені у рослин, що зазнають високого рівня техногенного впливу (д. д. №7 і №8), які у 3 та 4,6 раза відповідно були вищими, ніж у контролі (д. д. №1) [169, 238].

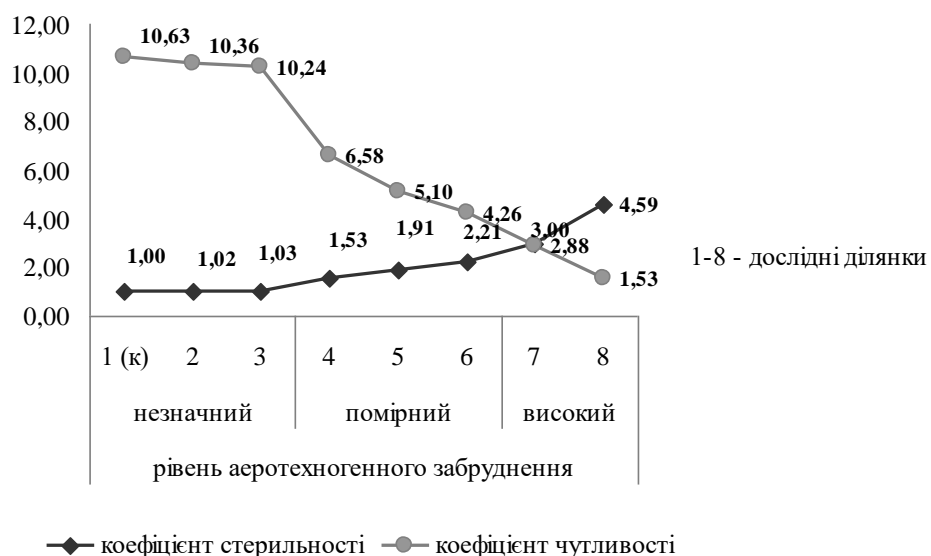


Рис. 5.3. Стерильність та чутливість пилку *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2017 р.

Щодо коефіцієнта чутливості, як показника, що відображає у скільки разів кількість фертильного пилку більше порівняно зі стерильним, то він поступово зменшувався від 10,63 до 1,53 з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення та був менше максимум у 6,9 раза у лдерев, що зростають біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (д. д. №8) порівняно з контролем (д. д. №1) [169, 238].

Отже, отримані дані свідчать, що на якість пилку *V. pendula* впливає аеротехногенне забруднення урбаносередовища, а інтенсивність його впливу залежить від характеру та рівня забруднення. За чотирма досліджуваними параметрами виявлено, що коефіцієнт чутливості пилку є найбільш інформативним при дослідженні стану навколишнього середовища, оскільки різниця між показниками досягає максимального у 6,9 раза відносно контролю.

5.1.5. Життєздатність пилку

Фертильність є важливою характеристикою, що визначає зиготичний потенціал пилку, однак цей параметр не відображає реальну його життєздатність, оскільки не всі пилкові зерна, які здатні до запліднення, проростають на приймочці маточки [226]. Пилок, відібраний із рослин *V. pendula* на восьми дослідних ділянках у Кривому Розі, по-різному проростав у лабораторних умовах (рис. 5.4). Найбільший відсоток пророслих пилкових зерен було відмічено у дерев КБС – 49,1% (д. д. №1). Частка життєздатного пилку на ділянках, що знаходяться біля автотранспортних шляхів (д. д. №4–6) становила в середньому на 33,7% менше від контролю. Найнижча кількість пророслого пилку була зафіксована у рослин, що зростають біля комбінатів ПрАТ «ПівнГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», де рівень забруднення є найвищим (д. д. №7 і №8): вона складала лише 27,0% та 14,3%, тобто була у 1,8 та у 3,4 раза відповідно меншою порівняно з рослинами КБС [169, 238].

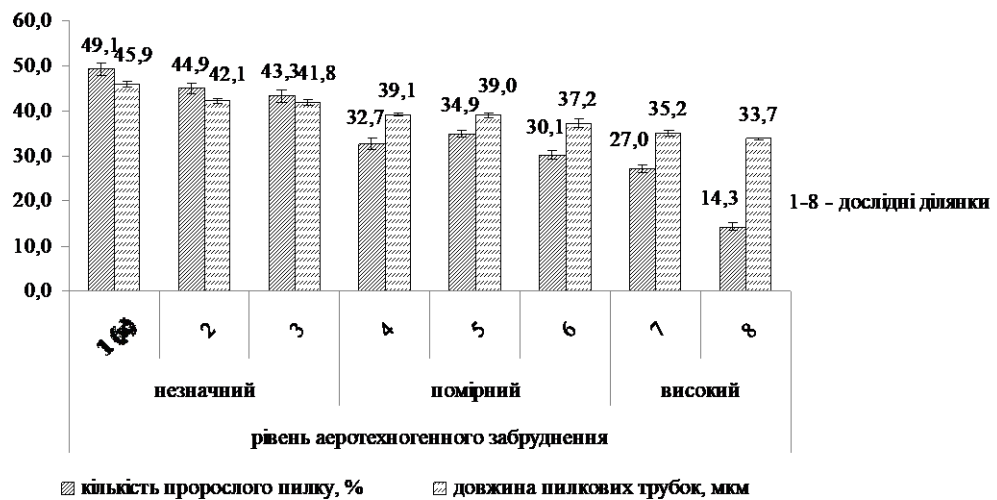


Рис. 5.4. Життєздатність пилкових зерен *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2017 р.

Погіршення життєздатності пилку *B. pendula* виявили португальські вчені, що досліджували вплив високих концентрацій CO, O₃ та SO₂ на його проростання. Результати досліджень показали зменшення кількості пророслих пилкових зерен від 39% у контролі до 25% – у дослідних зразках. Також, важливим результатом є те, що навіть при найнижчому рівні токсичних газів спостерігалось достовірне зниження життєздатності пилку на 20,5% – за дії CO, на 28,2% – за впливу O₃ та на 25,6% – за дії SO₂ [366].

Важливою ознакою, що характеризує життєздатність пилку та відображає рівень його конкурентної здатності є швидкість росту пилкової трубки на приймочці маточки. Цей параметр часто розглядають як показник, який може впливати на репродуктивний успіх чоловічого гаметофіту і призвести до запліднення [140, 454]. Проростання пилку в лабораторних умовах пропонують використовувати як діагностичний параметр, що характеризує стан навколишнього середовища за дії аерополітантів [140]. У ході дослідження пилку *Betula pendula* при проростанні його в лабораторних умовах виявлено зменшення довжини пилкової трубки залежно від місцезростання рослин. Так, наприклад, максимальні значення довжини пилкової трубки виявлені у контролі (д. д. №1) – 45,9 мкм. Близькими за значеннями були показниками даного параметру відносно КБС були у пилку

рослин на дослідній ділянці №2 в умовах незначного рівня забруднення – 42,1 мкм. Середній показник довжини пилкової трубки у рослин, що зазнають впливу забруднення з помірним рівнем, був на 16,3% нижче від контролю. Найменша довжина трубок зафіксована у пилку рослин, що зростають поблизу металургійного комбінату (д. д. №8), які на 26,6% були коротші, ніж у дерев ботанічному саду [338, 447].

Отже, в умовах урботехногенного середовища Кривого Рогу у *V. pendula* знижується життєздатність пилку. Зі збільшенням рівня аеротехногенного забруднення зменшується кількість пророслого пилку (від 49,1% до 14,3%) та скорочується довжина пилкової трубки (від 45,9 до 33,7 мкм).

5.2. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння

Важливою властивістю як окремих організмів, так і цілих популяцій, що характеризує життєздатність рослин є здатність їх до самовідновлення. Можливість відтворення собі подібних багато в чому залежить від біологічних особливостей насіння, кількісні та якісні показники якого відображають потенційні можливості їх насінневого поновлення, а також їхню стійкість та адаптацію до мінливих умов середовища [21, 197].

В урботехногенному середовищі, де рівень забруднення часто значно переважає гранично допустимі норми, у рослин спостерігається зниження процесів формування, росту та розвитку плодів і насіння [83], тому для отримання повної картини життєздатності виду важливими є дослідження не тільки чоловічої, а й жіночої генеративної системи за дії полютантів [52].

5.2.1. Морфометричні параметри маточкових сережок та їх насіннева продуктивність

Одними з найпоширеніших діагностичних параметрів негативного впливу несприятливих факторів середовища на рослини є насіннева продуктивність та якісні характеристики насіння. Насіння *V. pendula*

знаходиться у маточкових сережках, формується із насінневого зачатку у результаті подвійного запліднення, складається із зародка та запасних поживних речовин, укритих насінневою шкіркою. Після запліднення розростається також і зав'язь, утворюючи оплодень, що оточує насініну і поступово перетворюється на плід – горішок. Плоди *B. pendula* розвиваються по три штуки у пазусі трилопатевої луски, яка формується у результаті зростання приквіткових лусок з покривною [224]. У одній маточковій сережці може міститися від 400 до 700 горішків [467].

У дерев *B. pendula* семи дослідних ділянок у Кривому Розі розміри сережок, у яких знаходилися їх плоди, дещо змінювалися відносно контрольного і в деяких місцях зростання достовірно відрізнялися (табл. 4). Так, наприклад, найбільша довжина черешка маточкових сережок *B. pendula* виявлена на двох дослідних ділянках №1 і №2, що знаходяться в умовах незначного рівня забруднення – 13,9 і 13,7 мм відповідно. Незначно відрізнялися від контрольних показників значення цього параметру на ділянках №4, №5 та №7, що був менше на 3,6–6,5% [169, 461].

Таблиця 5.4

Морфометричні параметри маточкових сережок *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

Рівень аеротехнологічного забруднення	Дослідні ділянки	Довжина черешка, мм	Довжина сережки, мм	Ширина сережки, мм
Незначний	1 (к)	13,9±0,36	37,4±1,02	12,0±0,25
	2	13,7±0,50	36,1±0,84	11,4±0,24
	3	11,9±0,41***	36,9±0,75	9,0±0,11***
Помірний	4	13,4±0,51	34,6±0,78*	9,5±0,17***
	5	13,0±0,50	34,1±0,79*	9,5±0,24***
	6	11,6±0,44***	33,5±0,83**	9,0±0,18***
Високий	7	13,3±0,51	34,7±0,81*	9,5±0,18***
	8	11,3±0,51***	32,7±1,14**	8,4±0,28***

Примітка: дані є достовірно відмінними за t-критерієм Стьюдента на рівні 95 % – *, 99 % – ** та 99,9% – ***.

Більш суттєві зміни виявлені у дерев, що зростають у південній частині міста – у Металургійному районі, де відмінності були достовірними

відносно контролю. На ділянці №3, що знаходиться у зоні незначного рівня забруднення, черешок маточкової сережки *V. pendula* був коротший, ніж у ботанічному саду (д. д. №1) на 14,4%, а на ділянці №6, де рослини зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту, – на 16,5% порівняно з контролем [169, 461]. Найменша довжина черешка була виявлена у дерев, що зростають в умовах високого рівня забруднення, де вона була нижчою на 18,7%, ніж у контролі.

Довжина сережки *V. pendula* зменшувалася від 37,4 мм до 32,7 мм у рослин, що зростають в умовах різного рівня забруднення (див. табл. 5.4). Близькі за значенням показники отримані на дослідних ділянках, що знаходяться в зоні з незначним рівнем забруднення – у сквері та парку (д. д. №2 і №3), які достовірно не відрізнялись від рослин КБС (д. д. №1). Суттєво вищою була різниця між контролем та деревами, що зростають в умовах помірного рівня забруднення (д. д. №4–6), вона досягала в середньому 8,9%, а на ділянках з високим рівнем аеротехногенного впливу – 9,9%. Мінімальні значення довжини маточкових сережок відмічені у рослин, що зростають біля металургійного комбінату (д. д. №8), які на 12,6% були менше, ніж у дендрарії КБС (д. д. №1) [169, 461].

Більш інформативним є показник ширини сережок, значення якого достовірно відрізнялися майже на всіх дослідних ділянках порівняно з контролем, крім тих, що виявлені на дослідній ділянці №2. Ширина маточкових сережок у дерев з різних місць зростання варіювала від 12,0 мм (д. д. №1) до 8,4 мм (д. д. №8), що на 30,0% менше відносно контролю [169].

Аналіз досліджень показав, що надмірно високий негативний вплив токсичних викидів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в комплексі з іншими екологічними факторами призводить не тільки до зменшення морфометричних параметрів сережок, а й до їх деформування (викривлення тощо) (рис. 5.5). Слід зазначити, що цей металургійний комбінат займає перші місця за викидами забруднюючих речовин у повітря не тільки на території міста, а й по всій Дніпропетровській області [100, 254, 255, 256].



Рис. 5.5. Загальний вигляд маточкових сережок: А – у контролі; Б – на дослідній ділянці №8 у зоні високого рівня забруднення, 2018 р.

Середня кількість насінин у маточкових сережках *B. pendula* у різних місцях зростання також була неоднаковою та поступово збільшувалася відносно контролю у більшості насаджень: у контролі (д. д. №1) цей показник становив 446,9 шт., на дослідних ділянках №2, №3 значення були вище на 9,1%, а у дерев, що знаходяться в умовах помірного (д. д. №4–6) та високого рівнів забруднення (д. д. №7) – на 18,2% відносно контролю. Мінімальні значення цього параметру зафіксовано у рослин на ділянці №8, що зазнають впливу металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», частка яких була нижчою на 21,1%, ніж у КБС (д. д. №1) (рис. 5.6). На п'яти дослідних ділянках (д. д. №4–8), де рослини зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та токсичних викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу, найменшу кількість насінин зафіксовано у тих, що розташовані у Металургійному районі, у якому фоновий рівень забруднення був найвищим. Так, наприклад, по просп. Металургів (д. д. №6) середня кількість насінин в одній маточковій сережці становила 463,9 шт., тоді як по вул. Черкасова та Електрозаводська (д. д. №4 і №5) цей показник був вище на 23,7% та 17,8% відповідно, а поблизу ПрАТ «ПівнГЗК» (д. д. №7) більше на 82,0%, тобто у 1,8 раза, ніж ділянці №8, що зазнає впливу

негативних викидів металургійного комбінату. Очевидно, комплекс абіотичних факторів та аерополутантів впливають не тільки на розміри сережок, а й на продуктивність насіння, яке в них формується [169, 234].

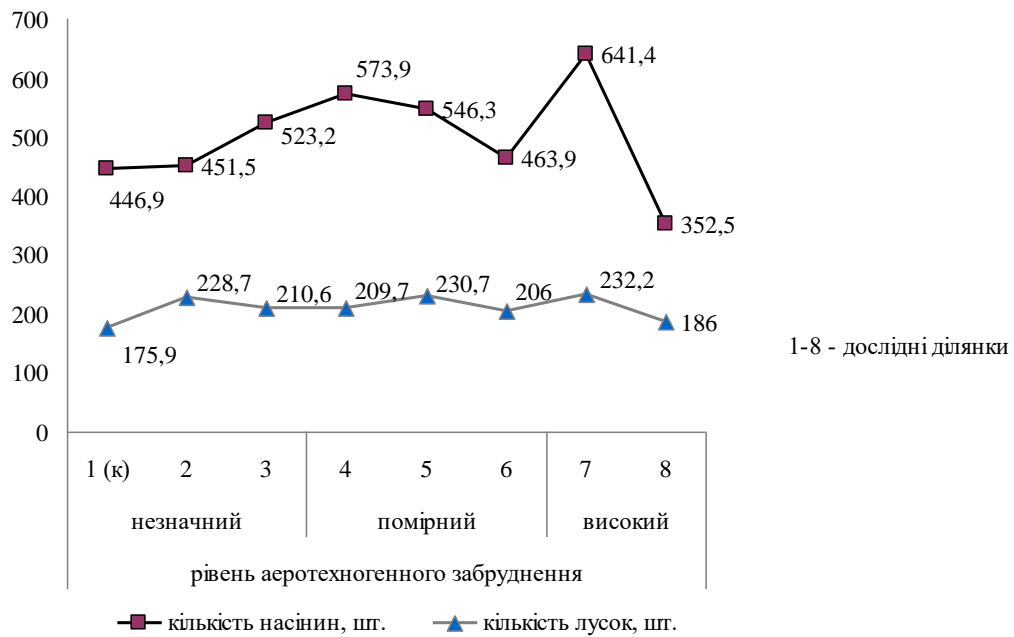


Рис. 5.6. Середня кількість насінин та лусок у маточкових сережках *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

Результати підрахунку кількості лусок у маточкових сережках *B. pendula* показали, що їх було у 1,9–2,8 раза менше, ніж насінин. Відносно контрольного насадження їх частка була вищою на 5,7–32,0% залежно від місця зростання.

Подібні зміни у генеративній системі, що супроводжуються збільшенням кількості насіння з погіршенням умов середовища вважаються адаптивними, які є відповідною реакцією на техногенний стрес [463; 464]. Проте отримані дані з насадження, що знаходиться поблизу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», де виявлено мінімальну кількість насіння у маточкових сережках *B. pendula*, свідчить про те, що у рослин недостатньо внутрішнього потенціалу для активації адаптивних механізмів до впливу токсичних викидів з металургійного комбінату.

5.2.2. Посівні якості насіння

Оскільки *B. pendula* є анемохорним видом, рясне щорічне плодоношення є важливою її видовою характеристикою, однак, незважаючи на це, посівні якості насіння у неї часто бувають на низькому рівні та залежать від умов середовища [18]. Основні параметри, за якими визначають посівні якості насіння – це маса 1000 насінин, доброякісність, схожість та енергія проростання тощо.

Для дослідження якості насіння *B. pendula* з насаджень Кривого Рогу використовували попередньо чисте відібране насіння, яке виділяли згідно Державного стандарту 13056.2-89 [78]. Один грам насіння з кожного насадження розподіляли на три фракції – чисте, відходи та домішки, після цього їх зважували окремо та перераховували у відсотковому співвідношенні. У дерев *B. pendula* з різних місць зростання частка трьох фракцій відрізнялась (табл. 5.5). Відсоток чистого насіння варіював у межах від 99,6% (д. д. №1) до 96,9% (д. д. №8) [169, 461].

Таблиця 5.5

Чистота насіння *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Чистота насіння, 1 гр.		
		чисте, у %	відходи, у %	домішки, у %
Незначний	1 (к)	99,6	0,2	0,2
	2	99,5	0,4	0,1
	3	99,6	0,1	0,3
Помірний	4	99,3	0,1	0,6
	5	98,9	0,3	0,8
	6	98,8	0,5	0,7
Високий	7	98,5	0,2	1,3
	8	96,9	1,4	1,7

Один з інформативних показників якості насіння вважається маса 1000 насінин, який легко і швидко визначається при проведенні досліджень. За різними даними, значення цього параметру характеризуються певною мінливістю в різні роки та залежать від багатьох факторів: віку насадження, місця розташування, плодоношення ґрунту географічного походження,

кліматичних умов тощо [65]. В умовах техногенного забруднення маса 1000 насінин може зменшуватися у зв'язку зі збільшенням кількості пусого насіння [28, 83]. З. В. Грицай та О. Г. Денисенко [83] пов'язують ці зміни з появою порушених плодів за рахунок їх недорозвитку, викривлення та звуження, зменшення загальної будови насіннєвих гнізд та розмірів насіннєвої камери, а в подальшому – їх насінини. Вони вважають, що показник маси 1000 насінин можна використовувати у моніторингових дослідженнях стану навколишнього середовища.

Маса 1000 насінин *B. pendula* в різних насадженнях в умовах Кривого Рогу варіювала 0,158 від до 0,126 г та поступово зменшувалася з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення (рис. 5.7). Так, максимальний показник цього параметру виявлений на дослідних ділянках з незначним рівнем забруднення – №1 і №2 (по 0,158 г), на ділянці №3 він був нижче на 5,1%, а у рослин, що зазнають негативного впливу аерополітантів з помірним рівнем забруднення (д. д. №4–6) – на 9,9%, ніж у ботанічному саду. Найменша маса 1000 насінин зафіксована у рослин, що зростають на ділянках з високим рівнем забруднення (д. д. №7 і №8), що в середньому на 19,0% нижче порівняно з контрольним насадженням. Очевидно, токсичні викиди комбінатів найбільше впливають на рослини *B. pendula*, що призводить до суттєвого зменшення їх маси насіння [169, 461].

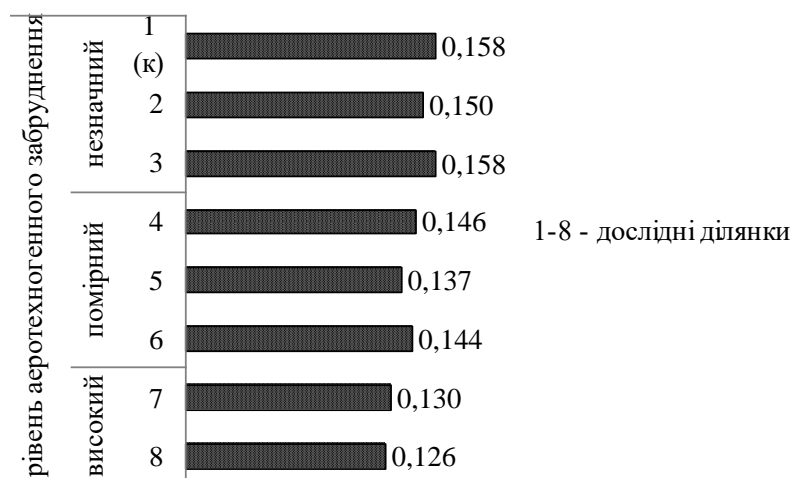


Рис. 5.7. Маса 1000 насінин *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

При дослідженні доброякісності насіння *B. pendula* визначено, що цей показник не перевищував 65% та зменшувався відносно контролю максимально у два з половиною рази (рис. 5.8). На чотирьох з восьми дослідних ділянках (д. д. № 1–4) відсоток повнозернистого насіння у дерев становив понад 50%, проте на д. д. №2–4 був менше відносно контролю на 3,5–18,0% залежно від місця зростання. На інших дослідних ділянках (№5–8) кількість доброякісного насіння достовірно відрізнялась від показників, отриманих у КБС, на рівні 99,9% та були меншими на 32,3–60,0%. Наявність пустого насіння навіть в умовах незначного рівня забруднення (д. д. №2 і №3) може бути пов'язано з тим, що *B. pendula* здатна до партенокарпії, тобто плоди можуть розвиватися без запліднення [224]. Так, дослідження популяцій *B. pendula* в Західному Сибірі показали дворічну періодичність плодоношення: низькі врожаї з високою кількістю порожніх плодів, які спостерігаються через один рік [150].

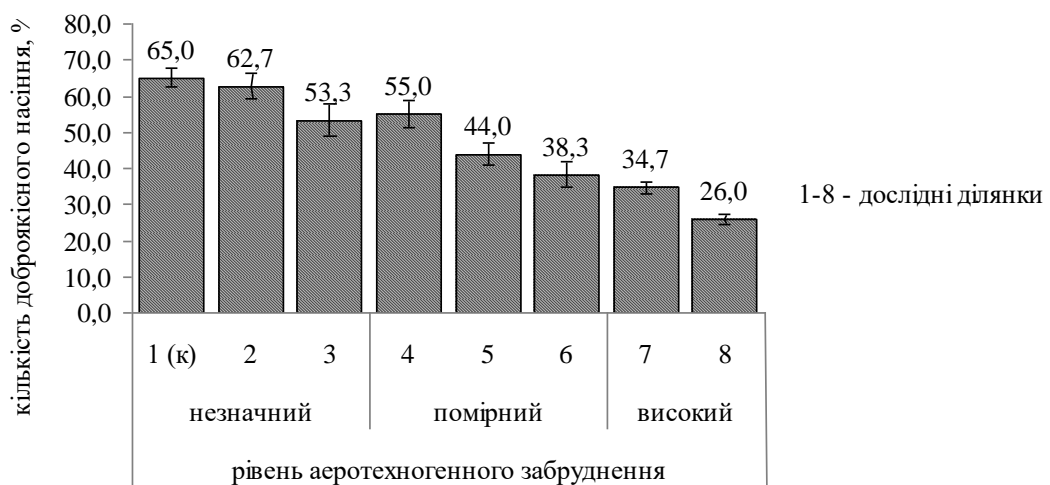


Рис. 5.8. Доброякісність насіння *Betula pendula* Roth умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

При дослідженні якості насіння важливо також ураховувати показники схожості насіння та енергії проростання, адже за цими параметрами можна визначити відсоток насіння, здатний до проростання за певний проміжок часу та наскільки дружно з'являються сходи [79]. Аналіз літературних

джерел показав, що у *B. pendula* наявний невисокий рівень проростання насіння. Так, дослідження схожості насіння *B. pendula*, зібраного з рослин із Зауралля, до якого входить південна тайга, південна частина середньої тайги і вся лісостепова зона, була низькою та складала близько 7,9–15,7%, а на межі ареалу – більше 30% [197]. Т. Тильковський виявив, що відсоток проростання свіжозібраного насіння *B. pendula* варіював в межах від 31% до 46% [488], а за даними М. Бодиля [339] цей показник становив близько 20%. Схожість насіння, зібраного з восьми насаджень *B. pendula* у Кривому Розі, не перевищувала 18% та істотно знижувалася з підвищенням рівня антропогенного забруднення (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Енергія проростання та схожість насіння *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг, 2018 р.

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Енергія проростання, у %	CV, %	Лабораторна схожість, у %	CV, %
Незначний	1(к)	14,0±0,71	7,1	17,7±1,08	10,0
	2	12,7±1,63	18,2	15,3±1,08	8,3
	3	9,0±1,22***	19,3	12,0±0,71***	10,4
Помірний	4	13,0±0,71	7,7	14,7±0,41***	10,4
	5	8,7±1,63***	26,7	9,7±2,27***	33,3
	6	2,7±0,41***	21,7	4,7±0,82***	24,7
Високий	7	1,7±0,41***	34,6	2,0±0,71***	50,0
	8	1,0±0,71***	100,0	1,0±0,71***	100,0

Примітка: дані показники є достовірно відмінними порівняно з контролем за *t*-критерієм Стьюдента при $P = 95\%$ – *, $P = 99\%$ – ** та $P = 99,9\%$ – ***.

Найвищий відсоток енергії проростання та схожості насіння *B. pendula* встановлено у рослин дендрарію КБС (д. д. №1) – 14,0% та 17,7% відповідно. У дерев скверу і парку (д. д. №2 і №3) ці показники були меншими відносно дерев ботанічному саду в середньому у 1,3 раза. На ділянках, що зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту (д. д. №4–6) енергія проростання та схожість насіння були нижче у 1,7 та 1,8 раза відповідно, а у рослин

V. pendula, що знаходяться у зонах гострої дії викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів (д. д. №7 і №8) ці показники були вкрай мінімальними – 1–2%, що у 10,4 та 11,8 раза менше ніж за контроль [169, 461].

Таким чином, викиди комбінатів гірничо-металургійного комплексу та вихлопні гази автотранспорту вкрай негативно впливають на репродуктивну сферу рослин, що призводить до формування нежиттєздатного насіння.

Висновки до розділу 5:

Таким чином, у результаті досліджень встановлено, що в умовах урботехногенного забруднення генеративна сфера *V. pendula* найбільше потерпає від негативної дії токсичних викидів комбінатів та, меншою мірою, від вихлопних газів автотранспорту, що призводить до:

1) зменшення довжини тичинкових сережок до 7,4% та їх потовщення до 13,7%;

2) зменшення морфометричних параметрів пилку: довжини полярної осі – до 8,9%, екваторіального діаметра – до 7,8%, збільшення видового спектру аномалій та їх загального відсотку до 3,2 разів;

3) погіршення якості пилкових зерен – зменшення кількості фертильного до 1,5 разів та збільшення стерильного максимум у 4,6 раза;

4) зниження відсотку життєздатного пилку до 3,4 разів та скорочення довжини пилкової трубки до 1,4 разів при пророщуванні пилку в лабораторних умовах;

5) зменшення розмірів маточкових сережок: довжини черешка – до 21,4%, довжини сережки – до 10,8%, ширини сережки – до 33,3%. Однак, є і зворотній ефект – збільшення кількості насінин у сережках до 43,5% (крім насадження, що ростуть біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») та лусок до 32,0% порівняно з контролем;

6) зниження посівних якостей насіння з погіршенням умов середовища: відсотку чистого до 2,7%; маси 1000 насінин до 20,3%;

доброякісності до 60%; енергії проростання до 92,9% та схожості насіння до 94,4% відносно дендрарію КБС.

При написанні розділу 5 були використані наступні посилання:

167. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ)*. Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41.
227. Петрушкевич Ю. М. Використання *Betula pendula* Roth як біоіндикатора стану навколишнього середовища м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (2–5 вересня, 2018 р., смт. Кирилівка)*. Кирилівка, 2018. С. 53.
234. Петрушкевич Ю. М. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 2018. Вип. 47. С. 39–47.
237. Петрушкевич Ю. М. Оцінка екологічного стану Кривого Рогу за допомогою пилку *Betula pendula* Roth. *The scientific heritage*. 2019. Vol. 2, N. 40. P. 14–16.
238. Петрушкевич Ю. М., Коршиков І. І. Морфо-фізіологічна характеристика пилку *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 58–66.
443. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005.

РОЗДІЛ 6. ВИКОРИСТАННЯ *BETULA PENDULA* ROTH У БІОІНДИКАЦІЇ

У різних країнах Європи, Північної Америки, Китаї біологічними об'єктами для дослідження екологічного стану міського середовища найчастіше обирають представників роду *Betula* L. [386, 416, 436]. Для оцінки впливу забрудненого середовища аерополітантами, вихлопними газами автотранспорту і важкими металами пропонують застосовувати найрізноманітніші показники рослин: фенологічні фази рослин [431, 483], життєвий стан насаджень [13], чисельність дерев у популяціях [436], рівень дефоліації крони [329], репродуктивну здатність рослин [371], фертильність і життєздатність їх пилюки, а також насіння [366, 427], лінійний ріст однорічних пагонів [340, 371, 468], пошкодженість (хлороз-некроз) листків [370], зміни в їх морфології [373, 420], в анатомічній структурі [361], розміри продихів, їх провідність і щільність розташування на листковій пластинці [382, 398, 434], вміст і співвідношення фотосинтетичних пігментів [440, 445, 446], інтенсивність фотосинтезу [420, 494], рівень активності антиоксидантних ферментів, накопичення низькомолекулярних сполук, що детоксикують ксенобіотики [323, 446], рівень акумуляції у вегетативних органах важких металів [406, 408, 410], їх вплив на біометричні параметри саджанців [446], а також цитогенетичні [68, 401].

Прикладом впливу міського середовища на рослини можуть бути порівняльні дослідження впливу забрудненого повітря в м. Ухань (Китай) і Юніон-Сіті (США), розташованого недалеко від Нью-Йорка на щільність розміщення і кількість продихів листків деревних рослин, включаючи види роду *Betula* L. [386]. Встановлено, що в листках *B. pendula*, яка зростає уздовж автомагістралей з інтенсивним транспортним рухом у м. Больцано (Італія), акумулюється ряд важких металів. Цей вид рекомендований як хороший біоіндикатор для оцінки забрудненості міського середовища [390]. Виявлено підвищений вміст у різні роки важких металів, а також аніонів Cl⁻,

NO_3^- , $(\text{SO}_4)_2$ у листках рослин *B. pendula*, які зазнавали впливу емісій промисловості та автотранспорту м. Нітра (Чехія) [479]. Інші автори вивчали їх вміст у деревні *B. pendula* у південній частині Литви [343], а також у коренях і стеблах проростків, вирощених на забрудненому субстраті [447]. Проведений моніторинг порушень у асиміляційному апараті *B. pendula* надмірними концентраціями SO_2 у районі Рудних гір за показниками епікутикулярного воску [331]. *B. pendula* використовувалася в якості індикаторного виду для оцінки екологічного стану навколишнього середовища у п'яти регіонах Хорватії [412], а також столиці Болгарії – Софії [416] і на цинково-свинцевих відвалах у районі м. Катовіце (Польща) [371]. Було встановлено чутливість пилку *B. pendula* в лабораторних умовах за дії атмосферних забруднювачів – вуглекислого газу, озону і двоокису сірки [366], а також фотосинтетичних пігментів листків [463, 440, 441]. Найчастіше у різних країнах зустрічаються роботи, спрямовані на дослідження накопичення важких металів у листках рослин [333, 378, 389, 390, 392, 451], дещо рідше – в інших органах: пагонах, коренях [498] і навіть у насінні *B. pendula* [232]. Зустрічаються дослідження вмісту в асиміляційному апараті *B. pendula* та інших хімічних елементів, як наприклад, S, N, P тощо [495]. Не менш важливим є вивчення антиоксидантної активності та вмісту вторинних метаболітів у листках і плодах рослин [407]. Н. Сускало та ін. [486] визначили, що в листках *B. pendula* у міських районах порівняно з лісовими місцями зростання відбуваються зміни концентрації білка, ізоферментних профілів пероксидаз, вмісту і антиоксидантної активності загальних фенолів і протигрибкової активності, що є адаптивною реакцією до конкретного середовища проживання. У Фінляндії досліджували вплив CO_2 і O_3 на накопичення фенольних сполук у листках клонів *B. pendula* [439]. Встановлено, що показник гідрофобності листка є критерієм для визначення впливу забрудненого міського середовища [487]. Виявлено, що на листових пластинках *B. pendula* накопичується найбільша кількість твердих частинок діаметром менше 10 мкм з повітря, шкідливих для здоров'я порівняно з

іншими видами [357]. Проте комплексних досліджень з використанням найрізноманітніших показників, що відображають реакцію на вплив забрудненого середовища, не було проведено.

У природній флорі України зустрічається дев'ять видів роду *Betula*, з яких найбільш поширена *B. pendula*. Цей вид росте практично у всіх природно-кліматичних зонах, включаючи степову, він зустрічається в долинах річок Самара і Північний Донець. У степових регіонах України *B. pendula* почали висаджувати ще в XIX столітті, а в озелененні великих міст широко використовувалася в другій половині XX століття, особливо в 70-80-ті роки. У насадженнях міст Донбасу частка цього виду становить 1,8%, де він вважається відносно стійким [243]. У насадженнях Кривого Рогу *B. pendula* повсюди поширена і характеризується високою зимо-, посухо-, пило- та газостійкістю. Застосовується в озелененні парків, скверів, в алейних і вуличних насадженнях, а також на прибудинкових територіях поодинокі і в групах [291]. Однак, в останні роки в цьому великому промисловому регіоні спостерігається зниження життєвого стану, як окремих дерев, так і нерідко багатьох березових насаджень [166]. Тому важливо здійснити різнобічну оцінку впливу забрудненого міського середовища на *B. pendula* для виділення тих показників, які можуть бути застосовані в біоіндикації стану середовища у великому промисловому місті степової зони України.

Аналіз отриманих даних показав, що біометричні показники дерев *B. pendula* з різних місць зростання, що в умовах різного рівня аеротехногенного забруднення істотно відрізнялися між собою і були меншими відносно рослин дендрарію ботанічного саду. Найнижчі показники зафіксовані на ділянках у зонах з високим рівнем забруднення, що нижче від контрольних у середньому на 28,8% і 20,8%. Зі збільшенням рівня аеротехногенного забруднення істотно зменшувалася кількість здорових дерев у насадженнях: у зонах з незначним рівнем забруднення цей показник був не нижчим, ніж 90% (д. д. №3) і досягав 96,7% у контролі (д. д. №1), на

ділянках, де рослини зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту (д. д. №4–6) їх кількість становила – 63,3–80%, а на ділянках з високим рівнем забруднення (д. д. №7 і №8) – не перевищувала 40%. При цьому збільшувалася кількість дерев з сухою верхівкою крони: від 3,3% – в контролі (д. д. №1) до 63,3% – біля металургійного комбінату (д. д. №8), істотно зменшувався об'єм крони і площа її проєкції. Це свідчить про те, що викиди комбінатів чинять найбільший негативний вплив на ріст і розвиток рослин *V. pendula*, що виявляється візуально [166, 167, 169, 228].

Розміри листків *V. pendula* також варіювали у дерев з різних місць зростання і зменшувалися порівняно з контрольними значеннями максимально на 14,3% (довжина черешка), 8,4% (довжина листкової пластинки) та 12,8% (ширина листкової пластинки) – у на ділянці №8 у зоні високого рівня техногенного навантаження. З погіршенням умов середовища у *V. pendula* встановлено збільшення співвідношення довжини до ширини листкової пластинки (Д/Ш) з 1,14 (у дендрарії КБС) до 1,30 (біля металургійного комбінату), що на 14% нижче відносно контролю [169, 228, 230, 231, 443].

На різних дослідних ділянках рівень флуктуючої асиметрії листків *V. pendula* істотно відрізнявся. Найменший показник цього параметру встановлений у ботанічному саду (0,071), який підвищувався у 4 та у 5,4 раза відповідно на ділянках з помірним та високим рівнями забруднення [169, 231, 233].

Аналогічну тенденцію відмічено при дослідженні «зігнутості» верхівки листка у *V. pendula*. Результати наших досліджень показали, що найменшу кількість листків *V. pendula* із зігнутою верхівкою зі 100 екземплярів загальної вибірки мали дерева, що зростають у зоні незначного рівня забруднення (№1–3) – від 5 до 7 шт., на ділянках, розташованих поблизу доріг з високим автотранспортним навантаженням (№4–6) цей показник істотно збільшився в середньому у 4,3 раза, а біля гірничо-збагачувального і металургійного комбінатів (№7 і №8) – у 7,3 раза [169, 233].

У досліджуваних рослин *B. pendula* вплив аерополітантив і вихлопних газів автотранспорту викликає зміни в анатомічній будові листків, які супроводжуються збільшенням товщини листкової пластинки залежно від місця зростання від 169,1 мкм (дендрарій саду) до 208 мкм (біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») та її тканин: верхнього і нижнього епідермісу – до 35% і 47,9%, а також палісадної і губчастої паренхіми – до 31,6% і 8,9% відповідно, значення яких були найвищими у листків дерев, які зростають в умовах високого рівня забруднення. До того ж, у листках дерев на різних ділянках збільшувався коефіцієнт палісадності максимально до 8,8% відносно контролю [169, 235, 443].

У міських рослин *B. pendula* відбуваються зміни у продиховому апараті листків. Дослідження показали, що зі збільшенням рівня техногенного пресу істотно знижувалися розміри продихів і збільшувалася їх щільність на листковій пластинці. У дерев на ділянках з незначним рівнем забруднення середні показники довжини, ширини, площі продихів та довжини щілини листка у придорожніх насадженнях були нижчими, ніж у КБС на 16,5%, 12,0%, 27,1%, 17,9%, а на ділянках, що зазнають впливу шкідливих комбінатів – на 24,2%, 20,6%, 40,0%, 25,4% відповідно [169, 443].

Що стосується щільності продихів, то їхня кількість на 1 мм² листка рослин різних насаджень змінювалася у середньому від 92,9 шт./мм² до 136,8 шт./мм² та поступово збільшувалась з підвищенням рівня аеротехногенного навантаження. Навіть у рослин скверу і парку (д. д. №2 і №3) цей показник був вищим, ніж у КБС на 10,6%, хоча рівень забруднення на цих територіях має незначний рівень, і максимально збільшувалася на 42,5% у рослин, що зростають в умовах високого рівня забруднення. Таким чином простежується очевидна залежність реакції листків рослин *B. pendula* від рівня забруднення міського середовища: чим він вищий, тим менші розміри продихів, проте зростає їхня загальна кількість [169, 443].

У листках *B. pendula* міських насаджень упродовж вегетаційного сезону, що зростають на ділянках з помірним і високим рівнями забруднення,

кількість зелених пігментів (хлорофілу *a* і *b*) зменшувалася, а жовтих (каротиноїдів) – збільшувалася порівняно з рослинами ботанічного саду. Найбільше зниження суми хлорофілів виявлено у листках дерев, які зазнають суттєвого впливу шкідливих викидів металургійного комбінату (д. д. №8) упродовж усього вегетаційного сезону – на 12,3–17,0%, відповідно хлорофілу *a* – на 9,8–15,2% і хлорофілу *b* – на 20,3–24,0%. Вміст каротиноїдів порівняно з рослинами ботанічного саду підвищився на 14,5–29,8%. У дерев, що зростають у зоні гострої дії викидів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», виявлені найбільш високі значення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* і найнижчі показники співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів [169].

У багатьох рослин-біоіндикаторів чутливими до аеротехногенного забруднення є не тільки вегетативні органи, а й генеративні. Пилкок *B. pendula*, що знаходиться в чоловічих суцвіттях – сережках, у рослин досліджуваних нами насаджень відрізнявся за розміром. Простежувалася тенденція зменшення довжини тичинкових сережок у рослин зі збільшенням аеротехногенного навантаження – максимум на 7,4%, а їх ширина, навпаки, зростала до 13,7%. Найменші розміри пилкових зерен виявлені у рослин *B. pendula*, які ростуть поряд із комбінатами. Довжина полярної осі менше у цих рослин на 4,0-8,9%, а екваторіального діаметра – на 5,5–7,8% порівняно з пилком дерев ботанічного саду. Загальна кількість аномального пилку у контролі склала 3,5% і досягала 11,1% біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». У рослин *B. pendula*, що зазнавали впливу вихлопних газів автотранспорту і викидів промислових підприємств, суттєво погіршувалася якість пилку. Кількість фертильного пилку у рослин різних насаджень зменшувалася до 33,8% відносно значень, отриманих у рослин з КБС. Коефіцієнт стерильності був максимально високим у рослин, що зростають біля металургійного комбінату та перевищував у 4,6 раза контрольні значення, а коефіцієнт чутливості, відповідно, був меншим у 6,9 раза. Частка пророслого пилку не перевищувала 50%: у ботанічному саду відсоток

життєздатного пилку склав 49,1%, а у рослин поблизу ПрАТ «ПівнГЗК» і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – 27% і 14,3% відповідно. До того ж, вплив забрудненого міського середовища позначився також на рості пилкових трубок при пророщуванні пилку в лабораторних умовах, довжина яких максимально зменшувалась до 26,6% (біля металургійного комбінату) відносно контролю (рослини КБС). Ці дані свідчать про те, що репродуктивна система *V. pendula* чутливо реагує на погіршення якості міського середовища внаслідок забруднення повітря вихлопними газами автотранспортних засобів і викидів діючих великих промислових виробництв [169, 232, 237, 238, 443].

Зменшувалися і розміри маточкових сережок у рослин *V. pendula* міських насаджень порівняно з контролем: довжина черешка – на 18,7%, довжина самої сережки – на 12,6% і її ширина – на 30%. Кількість насіння в маточкових сережках у рослин, які зростають поблизу металургійного комбінату було на 21,1% менше, ніж у контролі, де їх було в середньому 446,9 шт., хоча лусок у сережках дерев поряд із ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було на 5,7% більше. Більшу кількість насінневих лусок на 17,1–32,0% відзначено і у рослин інших місць зростання. При цьому на всіх дослідних ділянках кількість насіння в середньому на одну сережку було більше на 1,0–43,5% порівняно з рослинами ботанічного саду. У рослин *V. pendula* з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення відзначалося зниження чистоти і маси насіння максимально у дерев біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на 2,7% і 20,3% ніж у рослин КБС. Проміжними були ці значення у рослин біля доріг, а також поблизу ПрАТ «ПівнГЗК», що в середньому були нижчими від показників, отриманих у ботанічному саду на 0,7% і 11,9%. Показники доброякісності і схожості насіння у рослин міських насаджень суттєво знижувалися. Так, максимальні показники зафіксовані в КБС, де було 65% доброякісного насіння і 17,7% – пророслого, на ділянках, що зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту, значення зменшилися в середньому на 29,6% і 45,2%

відповідно, поблизу гірничо-збагачувального і металургійного комбінатів доброякісність не перевищувала 35%, а схожість варіювала в межах 1–2%. Енергія проростання насіння у рослин восьми місць зростання досягала лише 14% і також знижувалася відповідно до збільшення забруднення до 1% (у рослин біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») [169, 234, 443].

Таким чином, можна стверджувати, що підвищення рівня аеротехногенного забруднення призводить до пригнічення генеративної сфери *V. pendula*, яке супроводжується підвищенням насінневої продуктивності і погіршенням якості насіння рослин.

Висновки до розділу 6:

Отже, порівняльні результати наших досліджень реакцій *V. pendula* на забруднення міського середовища свідчать, що найбільший негативний вплив чинять викиди гірничо-збагачувального і металургійного комбінатів і меншою мірою – вихлопні гази автотранспорту. За чутливістю показників до забрудненості середовища, які реально доступні для моніторингу забруднення міського середовища, їх можна ранжувати в наступному порядку: великі відмінності порівняно з контролем (у півтора рази і більше) – схожість насіння, енергія проростання насіння, «зігнутість» верхівки листка, коефіцієнт чутливості пилку, флуктуюча асиметрія, коефіцієнт стерильності пилку, об'єм крони, життєздатність пилку, кількість аномального пилку, життєвий стан дерев (кількість здорових), доброякісність насіння, площа проєкції крони; відмінності від контролю на 25–50% – площа продихів, товщина нижнього епідермісу, щільність розташування продихів на листовій пластинці, насіннева продуктивність, товщина верхнього епідермісу, фертильність пилку, кількість лусок у маточкових сережках, товщина палисадної паренхіми, висота дерев, ширина маточкових сережок, вміст каротиноїдів, довжина продихів, співвідношення (хл. a +хл. b)/каротиноїди, довжина щілини продиху, довжина пилкової трубки, діаметр стовбура на рівні 1,3 м, ширина продихів; зміна показників на 10–24% –

хлорофіл *b*, товщина листка, маса 1000 насінин, співвідношення хл. *a*/хл. *b*, довжина черешка маточкових сережок, сума хлорофілів *a* і *b*, хлорофіл *a*, довжина черешка листка, відношення довжини до ширини листка, ширина тичинкових сережок, ширина листкової пластинки, довжина маточкових сережок; відмінності менше 10% щодо контрольних значень – товщина губчастої паренхіми, полярна вісь пилку, довжина листка, екваторіальний діаметр пилку, довжина тичинкових сережок, чистота насіння. З цих показників *Betula pendula* найбільш показовими для моніторингу стану довкілля є ті, що відрізняються від контрольних рослин ботанічного саду на 50% і більше відсотків.

При написанні розділу 6 були використані наступні посилання:

166. Коршиков І. І. Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth. в урбосистемі м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2017. № 1. С. 28–35.
167. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ)*. Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41.
169. Коршиков І. І., Сулова О. П., Петрушкевич Ю. М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
229. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на морфометричні параметри *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Рослини та урбанізація* : матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (1–2 березня 2017 р., м. Дніпро). Дніпро, 2017. С. 75–77.

230. Петрушкевич Ю. М. Морфометричні параметри листкової пластинки *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (5–10 вересня 2017 р., м. Луцьк)*. Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 106.
231. Петрушкевич Ю. М. Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін: зб. ст. міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (17–21 вересня 2017 р., м. Одеса)*. Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.
232. Петрушкевич Ю. М. Використання *Betula pendula* Roth як біоіндикатора стану навколишнього середовища м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (2–5 вересня, 2018 р., смт. Кирилівка)*. Кирилівка, 2018. С. 53.
233. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Біологія*. 2018. № 1 (72). С. 82–89.
234. Петрушкевич Ю. М. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 2018. Вип. 47. С. 39–47.
235. Петрушкевич Ю. М. Анатомічна будова листків *Betula pendula* Roth в урботехногенних умовах. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (6–9 вересня 2019 року, м. Харків)*. Харків, 2019. С. 39.
237. Петрушкевич Ю. М. Оцінка екологічного стану Кривого Рогу за допомогою пилку *Betula pendula* Roth. *The scientific heritage*. 2019. Vol. 2, N. 40. P. 14–16.

238. Петрушкевич Ю. М., Коршиков І. І. Морфо-фізіологічна характеристика пилку *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 58–66.
443. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено результати проведених комплексних досліджень життєздатності *B. pendula* в різних екологічних умовах Криворіжжя. На основі отриманих даних було зроблено наступні висновки:

1. У різних насадженнях *B. pendula* з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення в умовах м. Кривий Ріг суттєво знижується життєвий стан дерев та збільшується кількість рослин з сухою верхівкою крони від 3,3% до 63,3%. На ділянках із незначним рівнем забруднення суха частина верхівки крони досягає 0,5 м, в умовах помірного забруднення – 2 м, а у дерев, що зазнають високої концентрації токсичних викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу – 4 м. Істотно зменшуються біометричні показники: висота дерев до 30,8%, діаметр стовбура до 26,1%, площа проєкції та об'єм крони до 57,4% та 76,6% відповідно порівняно з контролем. Додатковий ефект, при цьому, спричиняє розміщення дерев у куртинних посадках, де зі зменшенням відстані між рослинами достовірно знижуються біометричні параметри дерев унаслідок збільшення конкуренції між ними.

2. В умовах помірного та високого рівнів забруднення за дії вихлопних газів автотранспорту та викидів комбінатів у *B. pendula* зменшуються морфометричні параметри листка (довжини черешка, довжини та ширина листка до 14,3%, 8,4%, 12,8% відповідно); збільшується рівень флуктуючої асиметрії максимально у 5,9 раз, кількості листків із зігнутою верхівкою – у 7,6 раз; потовщується листкова пластинка до 23% та її окремі тканини на максимум на 8,9–47,9%; зменшується розмір продихів (довжини, ширини, площі продихів та їх щілини в середньому до 24,2%, 20,6%, 40,0%, 25,4% відповідно), а також підвищується щільність продихів на 1мм² до 42,6% порівняно з контролем. В умовах Кривого Рогу високий рівень аеротехногенного забруднення призводить до зменшення вмісту хлорофілу *a* і *b*, їх суми та співвідношення (хл. *a*+хл. *b*)/каротиноїди до 15,8%, 24,0%,

17,4%, 28,9% відповідно та підвищення кількості каротиноїдів до 29,8%, а також співвідношення хл. *a*/хл. *b* та до 20,0%. Відмічено, що на ділянках з високим рівнем сонячної інсоляції кількість зелених пігментів зменшується більш інтенсивно.

3. *V. pendula* є активним піонером на залізородних відвалах Криворіжжя, яка здатна до насінневого самовідновлення та формування локальних популяцій. За віковою структурою *V. pendula* в 11 популяційних локусах визначено, що 10 з них є молодими і 1 зріючий, з яких рослини у 6 локусах здатні до повного самовідновлення. Вісім популяційних локусів належать до процвітаючого типу, а 3 – до депресивного, що пов'язано з відмінностями у породному складі відвалів. За індексом віталітету, який змінювався від 0,37 до 0,72, виявлено, що в різних локусах наявні неоднакові умови зростання.

4. Самосів *V. pendula* на залізородних відвалах Криворіжжя формує поверхневу кореневу систему, яка займає верхні шари субстрату (0–30 см). З підвищенням щільності субстрату у *V. pendula* відмічаються більш довгі та тонкі корені, що є адаптивною модифікацією на специфічні умови зростання. Визначено, що здебільшого при меншій довжині коренів і площі поверхні кореневої системи, інші параметри (довжина кореневої системи, її маса й об'єм) збільшувались.

5. Вплив аерополютантів призводить до укорочення до 7,4% та потовщення до 13,7% тичинкових сережок *V. pendula*, зменшення морфометричних параметрів пилку: довжини полярної осі – до 8,9%, екваторіального діаметра – до 7,8%, збільшення видового спектру аномалій та їх загального відсотку до 3,2 разів; погіршення якості пилкових зерен – зменшення кількості фертильного до 1,5 разів та збільшення стерильного максимум у 4,6 разів; зниження відсотку життєздатного пилку до 3,4 разів та скорочення довжини пилкової трубки до 1,4 разів при пророщуванні пилку в лабораторних умовах.

6. В умовах урботехногенного середовища жіноча генеративна сфера *B. pendula* найбільше потерпає від негативної дії токсичних викидів комбінатів та меншою мірою від вихлопних газів автотранспорту (в умовах високого та помірного рівнів забруднення відповідно), що призводить до зменшення розмірів маточкових сережок: довжини черешка – до 21,4%, довжини сережки – до 10,8%, ширини сережки – до 33,3%, збільшення кількості насінин в сережках до 43,5% (за винятком ділянки №8) та лусок до 32,0% порівняно з контролем; зниження посівних якостей насіння: відсотку чистого до 2,7%; маси 1000 насінин до 20,3%; доброякісності до 60%; енергії проростання до 92,9% та схожості насіння до 94,4% відносно контролю.

7. Серед комплексу показників, які були досліджені у *B. pendula*, найбільш чутливими до аеротехногенного забруднення є: схожість насіння, енергія проростання насіння, «зігнутість» верхівки листка, коефіцієнт чутливості пилку, флуктуюча асиметрія, коефіцієнт стерильності пилку, об'єм крони, життєздатність пилку, кількість аномального пилку, життєвий стан дерев (кількість здорових), доброякісність насіння, площа проєкції крони, відмінності яких досягали у 1,5 і більше разів порівняно з контрольними значеннями, тоді як найменш лабільними є: товщина губчастої паренхіми, полярна вісь пилку, довжина листка, екваторіальний діаметр пилку, довжина тичинкових сережок, чистота насіння, які мали відмінності відносно контролю менше, ніж 10%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдеева Е. В. Зеленые насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города (на примере г. Красноярск) : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. д. с.-х. н. : 03.00.16. Красноярск, 2008. 50 с.
2. Адаменко Я. О., Глібовицька Н. І. Вплив Битківського нафтового родовища на морфологічні показники берези повислої (*Betula pendula* Roth.). *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матеріали та програма V всеукраїнської міжвузівської конференції (м. Суми, квітня, 17-20 квітня 2018 р.). Суми : Сумський державний університет, 2018. С. 147–148.
3. Актуальные аспекты и специфика стандартизации и полного аллергенного экстракта пыльцы берёзы / Смирнов В. В. и др. *Бутлеровские сообщения*. 2013. Т. 36, № 10. С. 13–20.
4. Алейников И. М., Лебедев С. И. Каротиноиды и их роль в фотосинтезе. *Научн. тр. Укр. с-х. акад.* 1974. Вып. 102. С. 13–19.
5. Александров В. Г. Анатомия растений. М. : Высшая школа, 1966. 429 с.
6. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*. 1989. № 4. С. 5–57.
7. Алексеев В. А., Лянгузова И. В. Влияние загрязнения на изменение морфоструктуры деревьев. *Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение*. Л. : Наука, 1990. С. 87–94.
8. Алёхин В. В. Растительность СССР в основных зонах. Изд-е 2-е. М. : Советская наука, 1951. 483 с.
9. Алиев М. Г. Экологические предпосылки старения и продолжительности жизни листьев : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08, 03.02.01. Махачкала, 2010. 113 с.
10. Алисов Б. П. Климат СССР : учеб. для студ. географ. спец. вузов : 2-е изд. М. : Высш. шк., 1969. 104 с.

11. Андреева И. И., Родман Л. С. Ботаника : 2-е издание, пер. и доп. Москва : КолосС, 2002. 488 с.
12. Андронов Н. М., Богданов П. Л. Определитель древесных растений по листьям / под общей ред. П. Л. Богданова. Л. : Изд-во Ленинградского ун-тета, 1974. 128 с.
13. Аралбаева Л. С., Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Оценка относительного жизненного состояния и стабильности развития берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) города Салават. *Вестник ОГУ*. 2009. № 6. С. 39–42.
14. Артюхов В. Г., Калаев В. Н., Карпова С. С. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства деревьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающих в различных экологических условиях. *Генетическая токсикология и генетически активные факторы среды. Экологическая генетика*. 2009. Том VII, № 1. С. 30–40.
15. Атрохин В. Г. Лесоводство и дендрология : учебник для техникумов. М. : Лесн. промышленность, 1982. 368 с.
16. Ахмадуллин Р. Ш., Зайцев Г.А. Особенности строения корневых систем ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Уфимского промышленного центра. *Поволжский экологический журнал*. 2013. № 3. С. 354–358.
17. Бабицький А. І. Дослідження продигових апаратів малопоширених деревних інтродуцентів родини *Rosaceae* Juss. у зв'язку з їхньою посухостійкістю в умовах правобережного лісостепу України. *Наукові записки ТНПУ. Серія Біологія*. 2011. № 1 (46). С. 3–8.
18. Багаев С. Н. Цветение березы. *Природа*. 1963. № 6. С. 127.
19. Багрій І. Д., Білоус А. М., Вилкул Ю. Г. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинськ. Київ : Фенікс, 2000. 110 с.

20. Баранник Л. Г. Экологическая пригодность древесных и кустарниковых пород для лесной рекультивации в Кузбассе. *Восстановление техногенных ландшафтов в Сибири*. 1977. С. 120–138.
21. Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам. Новосибирск, 1997. 63 с.
22. Бастаева Г. Т. Лесное семеноводство : методические указания к лабораторным занятиям для студентов очного и заочного отделений по специальности 250201.65 – Лесное хозяйство и направлению подготовки 250100.62 – Лесное дело. Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2013. 70 с.
23. Беляева Ю. В. Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth. в естественных и антропогенных условиях Тольятти. *Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии*. 2013. Т. 23, № 3. С. 167–174.
24. Бессонова В. П. Вплив важких металів на пігментну систему листка. *Український ботанічний журнал*. 1992. Т. 49, № 2 С. 63–66.
25. Бессонова В. П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами. *Экология*. 1994. № 4. С. 45–50.
26. Бессонова В. П. Индикация загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами по их накоплению в растениях. *Питання біоіндикації та екології*. 1999. Вип. 4. С. 11–21.
27. Бессонова В. П. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений. Днепропетровск : ДГАУ, 2006. 208 с.
28. Бессонова В. П., Грицай З. В. Интенсивность плодоношения древесных растений в условиях загрязнения среды. Д. : Днепропетр. ун-т, 1993. 11 с.
29. Бессонова В. П., Лыженко И. И. Влияние загрязнения среды на прорастание и физиологическое состояние пыльцы некоторых древесных растений. *Ботанический журнал*. 1991. Т. 76, № 3. С. 422–426.

30. Бессонова В. П., Бессонов С. П., Зверковський В. М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урбатехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 1. С. 70–82. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pbte_2013_18_1_10.
31. Быстрорастущие древесные породы / пер. с нем. Л. Я. Брнзовой, Д. Д. Минина. Под ред. А. В. Альбенского. М. : Изд-во иностранной литературы, 1959. 508 с.
32. Биоиндикация загрязнения районов г. Воронежа по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы / Калаев В. Н. и др. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2011. № 2. С. 168–175.
33. Биологический мониторинг природно-техногенных систем / под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алалыкиной. Сыктывкар, 2011. 388 с.
34. Биология древесных растений / Иванов А. Ф. и др. Минск : Наука, 1975. 264 с.
35. Блюсюк Н. Л. Вплив антропогенного навантаження на параметри крон берези повислої. *Науковий вісник НЛТУ України. Біологія*. 2003. Вип. 13, № 5. С. 280–282.
36. Богданов П. Л. Дендрология. Москва : Лесная промышленность, 1974. 240 с.
37. Бойко А. А. Дендрозкологическая характеристика берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях смешанного типа загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр) : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. к.б.н. по спец. : 03.00.05. Уфа, 2005. 20 с.
38. Болондинский В. К., Холопцева Е. С. Исследования фотосинтеза и транспирация у карельской берёзы и берёзы повислой. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2013. № 3. С. 173–178.
39. Большаков В. І., Тубольцев Л. Г., Горохова В. О. Екологія Кривбасу в умовах перспективного розвитку гірничо-металургійного комплексу України. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной*

- металлургии*: сб. научн. тр. Дніпропетровськ : ІЧМ НАН України, 2012. Вип. 26. С. 282–291.
40. Буинова М. Г., Бадмаева Н. К. *Анатомия фотосинтезирующих органов растений Забайкалья* : монография / отв. ред. О. А. Аненхонов. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2009. 135 с.
 41. Булава Л. Н. *Физико-географический очерк территории Криворожского горнопромышленного района*. Кривой Рог, 1990. 125 с.
 42. Булыгин Н. Е. *Дендрология*. Москва : Агропромиздат, 1985. 280 с.
 43. Бухарина И. Л. Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях урбосреды. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2008. Т. 10. № 2 (19). С. 607–612.
 44. Бухарина И. Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды. *Вестник Рос. ун-та дружбы народов. Серия : Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2008. № 2. С. 5–13.
 45. Бухарина И. Л., Двоеглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск : Удмуртский университет, 2010. 184 с.
 46. Бухарина И. Л., Ведерников К. Е., Поварницина Т. М. Способы оценки средорегулирующей функции древесных насаждений крупного промышленного центра. *Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий*: материалы междунар. науч.-практ. конф. Оренбург, 2006. С. 36–39.
 47. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. *Городские насаждения: экологический аспект* : монография. Ижевск : Удмуртский университет, 2012. 206 с.
 48. Бухарина И. Л., Поварницина Т. М., Ведерников К. Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография. Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
 49. Ванин А. И. *Дендрология*. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1960. 248 с.

50. Васильев Б. Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон / под ред. В. М. Шмидта. Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. С. 21–49.
51. Васильев И. В. К систематике и биографии берёз. *Ботан. материалы гербария Ботан. ин-та им. В. Л. Комарова АН СССР*. 1969. Т. 21. С. 99–103.
52. Васильев С. В., Чепик Ф. А. Рост и состояние древесных растений в городских условиях. *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: материалы всеросс. науч. конф.* Петрозаводск : Карельский научный центр, 2008. С. 194–196.
53. Ведерников К.Е. Биоэкологические особенности древесных растений в насаждениях урбаноэкосистем (на примере г. Ижевска) : автореф. дис. ... канд. к.б.н. : 03.00.16. Ижевск, 2008. 20 с.
54. Ведерников К. Е., Двоглазова А. А., Бухарина И. Л. Изучение состояния и средорегулирующего потенциала древесных и травянистых растений крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска). *Экологические проблемы промышленных центров: материалы всеросс. науч.-практ. конф.* Саратов : СГУ, 2007. С. 38–41.
55. Верхунов П. М., Черных В. Л. Таксация леса : учебное пособие. 2-е издание, стереотип. Йошкар-Ола : Марийский государственный университет, 2009. 396 с.
56. Ветчинникова Л. В. Береза: вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты) / отв. ред. А. Ф. Титов. Москва : Наука, 2004. 183 с.
57. Вихров В. Е. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР. М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1959. 132 с.
58. Вишаренко В. С., Толоконцев Н. А. Экологические проблемы городов и здоровье человека. Л. : Знание, 1982. 32 с.

59. Влияние лесопатологического состояния берёзы повислой на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки / Гелашвили Д. Б. и др. *Поволжский экологический журнал*. 2007. № 2. С. 106–115.
60. Влияние остаточных количеств противогололёдных материалов на физиолого-биохимические показатели древесно-кустарниковых растений / Яковлев А. П. и др. *Ксенобиотики и живые системы: материалы III междунар. конф. науч. конф.* (Минск, 22–24 октября, 2008 г.). Минск : Издательство центра БГУ, 2008. Р. 172–174.
61. Влияние тяжёлых металлов на жизнеспособность пыльцы некоторых древесных / Лях В. А. и др. *Научный вестник СумГУ. Технические науки*. 2004. № 2 (61). С. 174–177.
62. Воздействие Pb_2^+ на активность антиоксидантных ферментов и ультраструктуру клеток листьев / Ху Ц. Ц. и др. *Физиология растений*. 2007. Т. 54, № 3. С. 469–474.
63. Возобновление на железорудных отвалах Криворожья натурализованных в степной зоне видов-интродуцентов древесных растений / Коршиков И. И. и др. *Інтродукція та захист рослин у ботанічних садах та дендропарках: матер. міжнар. наук. конф.* (Донецьк, 5–7 вересня 2006 р.). Донецьк, 2006. С. 247–250.
64. Волжанина Е. М. Оценка устойчивости интродуцированных видов сосен по показателям водоудерживающей способности хвои. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2004. Вып. 2, № 8. С. 94–99.
65. Волкович А. П. Лесное семеноводство. Лабораторный практикум. Минск : УО «БГТУ», 2014. 72 с.
66. Володарець С. О. Сануюча функція деревних рослин культурфітоценозів урбанізованого середовища : дис. на здобуття наук. ст. к. б. н. : 03.00.16. Вінниця, 2016. 213 с.

67. Воскресенская О. Л., Сарбаева Е. В. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Tujha occidentalis* L.) в городских условиях. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2006. 130 с.
68. Вострикова Т. В. Цитозкологическое изучение берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях техногенной нагрузки. *Вестник ВГУ. Серия : Химия. Биология. Фармация.* 2009. № 2. С. 95–101.
69. Гарифзянов А. Р., Иванищев В. В., Музафаров Е. Н. Оценка устойчивости *Betula pendula* Roth. при произрастании на техногенно загрязнённых территориях. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки.* 2011. Вып. 2. С. 315–324.
70. Геник Я. В. Лісовідновлення складних техногенних екосистем Львівщини. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету.* 2012. № 1. С. 117–120.
71. Геодакян В. А. Количество пыльцы как регулятор эволюционной пластичности перекрестноопыляющихся растений. *Доклады АН СССР.* 1977. Том 234, № 6. С. 1460–1463.
72. Герасименко Т. В., Швецова В. М. Основные итоги эколого-физиологических исследований фотосинтеза в Арктике. Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и дыхания растений / под ред. О. А. Семихатовой Ленинград : Наука, 1989. С. 65–114.
73. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде. Минск : Наука и техника, 1989. 208 с.
74. Гиниятуллин Р. Х. Распределение корней берёзы повислой по почвенному профилю в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2012. Т. 14, № 5. С. 253–256.
75. Гиниятуллин Р. Х., Кулагин А. Ю. Состояние корневой системы берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях Стерлитамакского

- промышленного центра. *Вестник Удмуртского университета*. 2012. Вып. 4. С. 21–28.
76. Годин В. Н. Биологические особенности пыльцы *Pentaphylloides fruticosa* (Rosaceae) в связи с половой дифференциацией в условиях культуры. *Ботанический журнал*. 2004. Т. 89. № 4. С. 631–638.
77. ГОСТ 13056.4-67. Семена деревьев и кустарников. Методы определения веса 1000 семян. М. : Изд-во стандартов, 1967. 3 с.
78. ГОСТ 13056.2-89. Семена деревьев и кустарников. Методы определения чистоты. Москва : Изд-во стандартов, 1990. 23 с.
79. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Москва : Издательство стандартов, 1997. 28 с.
80. ГОСТ 13056.8-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1998. 12 с.
81. Грабовская А. А. Берёза и бархат амурский в лесных культурах юга лесостепи. *Лесное хозяйство*. 1952. № 10. С. 41–44.
82. Грешта Я. Рекультивация промышленных бросовых земель в Польской Народной Республике. *Растительность и промышленные загрязнения*. Свердловск, 1970. С. 63–72.
83. Грицай З. В., Денисенко О. Г. Насіннева продуктивність деревних рослин в умовах забруднення довкілля викидами металургійного підприємства. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2011. Вип. 19, Т. 2. С. 40–44.
84. Гроздов Б. В. Дендрология. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1952. 436 с.
85. Гуртяк А. А., Углев В. В. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора. *Известия Томского политехнического университета*. 2010. Т. 317, № 1. С. 200–204.
86. Данченко А. М. Популяционная изменчивость берёзы. Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1990. 205 с.

87. Дашичева И. В., Глазун И. Н. Динамика посевных качеств семян березы повислой при хроническом облучении ионизирующей радиацией. *Научные ведомости. Естественные науки*. 2012. Вып. 21/1, № 21 (140). С. 19–23.
88. Двоглазова А. А. Эколого-биологические особенности древесных и травянистых растений в насаждениях урбаноэкосистемы крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Уфа, 2009. 20 с.
89. Деревья и кустарники СССР. II Покрытосеменные / под. ред. С. Я. Соколова. М.-Л. : Изд. АН СССР, 1951. 612 с.
90. Детальний план території. Реконструкція комплексу будівель під автозаправний комплекс на вул. Старовокзальна, 46 у Центрально-Міському районі м. Кривого Рогу. Розділ «Охорона навколишнього природнього середовища». Кривий Ріг, 2019. 85 с.
91. Джиган О. П. Вплив інгредієнтів викидів автотранспорту на анатомічну будову листків *Tagetes patula* L. та *Salvia splendens* Ker.-Gawl. в умовах Дніпропетровського мегаполісу. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. Вип. 19, № 2. С. 103–120.
92. Дзюба О. Ф. Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических пыльцевых спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии. *Нефтегазовая технология : теория и практика*. 2007. № 2. С. 1–22.
93. Дідух Я. П. Популяційна екологія. Київ : Фітосоціоцентр, 1998. 192 с.
94. Добровольский И. А. Фитоиндикация промышленного загрязнения воздуха в Криворожском железорудном бассейне. Растения и промышленная среда. К. : Наук. думка, 1976. С. 13–14.
95. Добровольський І. О., Шанда В. І., Гаєва Н. В. Характер і напрямки сингенезису в техногенних екотопах Кривбасу. *Український ботанічний журнал*. 1979. № 6. С. 524–527.

96. Домбровский Ю. А., Тютюнов Ю. В. Структура ареала, подвижность особей и состав популяций. *Журнал общей биологии*. 1987. Том 48, № 4. С. 493–498.
97. Доппельмайр Г. К экологии пушистой берёзы. *Лесной журнал*. 1909. Вып. 5. С. 724–731.
98. Древесно-кустарниковые породы для озеленения уступов и отвалов карьеров Кривбасса / Давыдов И. А. и др. *Растения и промышленная среда*. К. : Наук. думка, 1971. С. 145–149.
99. Дроздова И. В., Алексеева-Попова Н. В. Экология минерального питания растений в экстремальных эдафических условиях. *Принципы и способы сохранения биоразнообразия*: сб. матер. 2 всерос. науч. конф. Йошкар-Ола : МарГУ, 2006. С. 314–315.
100. Екологічний паспорт міста Кривого Рогу. Кривий Ріг, 2017. 56 с.
101. Енциклопедія Криворіжжя : у 2-х т. / упоряд. В. П. Бухтіяров. Кривий Ріг : ЯВВА, 2005. Т. 1. 704 с.
102. Енциклопедія Криворіжжя : у 2-х т. / упоряд. В. П. Бухтіяров. Кривий Ріг : ЯВВА, 2005. Т. 2. 816 с.
103. Егорова Н. Н., Кулагин А. А. Анатомические и морфологические особенности ассимиляционного аппарата и проводящих корней древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2008. Т. 10, № 2. Р. 310–324.
104. Егорова Н. Н., Нафикова А. Т. Изменчивость признаков анатомического строения ассимилирующих органов березы повислой и тополя бальзамического в экстремальных лесорастительных условиях. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13, № 5 (2). С. 165–168.
105. Елькина Н. А. Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. к. б. н. : 03.00.16. Санкт-Петербург, 2008. 23 с.

106. Еремеева В. Г., Денисова Е. С. Газоустойчивость древесных растений Западной Сибири. *Сибирский экологический журнал*. 2011. Том 18, № 2. С. 263–271.
107. Ерещенко О. В. Оценка экологического состояния городской среды с использованием березы повислой (на примере г. Барнаула). *Исследования в области естественных наук*. 2012. № 4. URL: <http://science.snauka.ru/2012/04/289>.
108. Ерофеева Е. А. Глубина зимнего покоя и скорость выхода из него берёзы повислой в биотопах с различным уровнем автотранспортного загрязнения. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2010. № 2 (2). С. 396–398.
109. Ерофеева Е. А., Наумова М. М. Взаимосвязь физиолого-морфологических показателей. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2010. № 1. С. 140–143.
110. Ерофеева Е. А., Наумова М. М., Нижегородцев А. А. Морфогенетические и биохимические аспекты оценки стабильности развития на примере листовых пластинок берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2007. № 5. С. 75–77.
111. Ерофеева Е. А., Сухов В. С., Наумова М. М. Двухфазная зависимость некоторых эколого-морфологических и биохимических параметров листовой пластинки берёзы повислой от уровня автотранспортного загрязнения. *Поволжский экологический журнал*. 2009. № 4. С. 288–295.
112. Ерохина И. С., Елькина Н. А. Палиноиндикация природной среды урбанизированных территорий таежной зоны. *Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami: materiały VII międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji*. Vol. 45. Przemysł : Nauka i studia, 2011. S. 52–55.

113. Ефимова М. А. Деревья и кустарники зимой: определитель. Л. : Учпедгиз, 1954. 88 с.
114. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния : эффективная плотность и классификация популяций. *Экология*. 2001. № 1. С. 3–7.
115. Жизнь растений : в 6-ти томах / под ред. А. Л. Тахтаджяна. Москва : Просвещение, 1974. Т. 6. 543 с.
116. Жиляев Г. Г. Жизнеспособность популяций растений. Львов : ЛПМ НАНУ, 2005. 304 с.
117. Жиров В. К., Иноземцева М. О. Морфологическая и физиологическая изменчивость берёз в условиях техногенного загрязнения. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2011. № 2. С. 47–57.
118. Жуйкова Т. В. Реакция ценопопуляций и растительных сообществ на химическое загрязнение среды: автореф. дис. д. б. н., спец.: 03.00.16 – экология, 03.00.05 – ботаника. Екатеринбург, 2009. 40 с.
119. Жукова Л. А. Динамика ценопопуляции луговых растений в естественных фитоценозах. *Динамика ценопопуляций травянистых растений*: сб. науч. тр. Киев : Наукова Думка, 1987. С. 9–19.
120. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : Ланар, 1995. 224 с.
121. Забросаев Н. С. О морфологических особенностях разновидностей бородавчатой и пушистой берёз в лесостепной зоне Омской области. *Биол. науки*. 1969. № 6. С. 65–69.
122. Завьялов К. Е. Состояние искусственных насаждений берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. к. с. н. : 06.03.03. Екатеринбург, 2009. 16 с.
123. Зайцев Г. Н. Фенология древесных растений. М. : Наука, 1981. 120 с.
124. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва : Наука, 1984. 424 с.

125. Заугольнова Л. Б. Развитие клонов и некоторые черты пространственной структуры ценопопуляций. *Ботанический журнал*. 1974. Том 59, № 9. С. 1303–1310.
126. Заугольнова Л. Б., Смирнова О. В. Возрастная структура ценопопуляции многолетних растений и её динамика. *Журнал общей биологии*. 1978. Т. XXXIX, № 6. С. 849–858.
127. Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Шорина Н. И. Особенности популяционной жизни растений. В сб. : *Популяционные проблемы в биогеоценологии : статьи*. М., 1988. С. 24–59.
128. Здоровье среды : практика оценки / Захаров В. М. и др. М., 2000. 320 с.
129. Зеленская Т. Г., Мандра Ю. А., Юшина М. И. Анализ проявления флуктуирующей асимметрии у листьев берёзы повислой в зависимости от степени загрязнения окружающей среды г. Невинномысска. *Modern problems and ways of their solution on science, transport, production and education*. 2012. Р. 18–27. URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer29/423.pdf>.
130. Злобин Ю. А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань : Казанский университет, 1989. 146 с.
131. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений : современное состояние, точки роста. Сумы : Университетская книга, 2009. 263 с.
132. Золотун В. П. Развитие почв юга Украины за последние 50-45 веков : автореф. дис... д. с/х наук : 25.00.23. К. : УСХА, 1974. 74 с.
133. Золотухин А. И. Биологическая активность водных экстрактов листьев древесных растений в разных экологических условиях. *Структура, состояние и охрана экосистем Прихонперья* : межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. А. И. Золотухина. Балашов : Николаев, 2007. С. 43–46.
134. Зубровська О. М., Гришко В. М. Зміни складу поверхневих ліпідів кутикули *Populus italica* та *Betula pendula* в умовах забруднення. *Біологічний вісник МДПУ*. 2014. № 2. С. 142–158.

135. Зюман Б. В., Уткіна О. В., Дігтяр С. В. Оцінка токсикомутагенного фону території у зоні впливу діяльності заводу залізобетонних виробів з використанням тесту «Стерильність пилку рослин». *Науковий вісник КУЕІТУ*. 2013. № 1–2 (39–40). С. 114–119.
136. Ибрагимова Э. Э. Влияние аэротехногенного загрязнения среды на репродуктивные органы плодовых растений. *Ученые записки Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Сер. : Биология, химия*. 2006. Т. 19 (58), № 1. С. 43–49.
137. Иванов Н. Н. Пояса континентальности земного шара. *Известия ВГО*. 1959. № 5. С. 8–19.
138. Иванова Н.А., Костюченко Р.Н. Эколого-физиологические механизмы адаптации некоторых видов ив в различных условиях обитания на территории Среднего Приобья : монография. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманитар. ун-та, 2011. 163 с.
139. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале
Иванов Л. А. и др. *Физиология растений*. 2013. Т. 60. № 6. С. 856–864.
140. Изучение пыльцы у аборигенных и интродуцированных в условиях Карелии представителей рода *Betula* L. / Николаевская Т. С. и др. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2009. № 4. С. 90–95.
141. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. К. : Наукова думка, 1978. 274 с.
142. Исаченко А. Г. Ландшафты СССР. Л., 1986. 348 с.
143. Ишбирдин А. Р., Ишмуратова М. М. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений. *Методы популяционной биологии: сборник материалов VII всеросс. популяционного семинара (Сыктывкар, 16–21 февраля 2004 г.)*. Сыктывкар, 2004. Ч. 2. С. 113–120.
144. Ібрагімова Е. Е. Екологічна оцінка дії техногенних хімічних забруднень на цитогенетичні показники вищих рослин в умовах Криму : автореф.

- дис. на здобуття вченого ступеня канд. біол. наук: спеціальність 03.00.16 – «Екологія». Київ, 2008. 20 с.
145. К вопросу комплексного изучения берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающей в Красноярском крае / Первышина Г. Г. и др. *Химия растительного сырья*. 2002. № 3. С. 17–20.
146. Кавеленова Л. М. Проблемы организации системы фитомониторинга городской среды в условиях лесостепи. Самара : Универс групп, 2006. 222 с.
147. Калаев В. Н., Буторина А. К., Шелухина О. Ю. Оценка антропогенного загрязнения районов г. Старый Оскол по цитогенетическим показателям семенного потомства берёзы повислой. *Экологическая генетика*. 2006. Т. IV, № 2. С. 9–20.
148. Калашникова И. В., Мигалина С. В. Естественное возобновление берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) и берёзы пушистой (*B. pubescens* Ehrh.) на техногенных ландшафтах. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2012. № 5 (37). С. 240–243.
149. Калдыбаев Б. К. Определение загрязнения окружающей среды г. Каракол методами биоиндикации. *Вестник ИГУ*. 2003. № 9. С. 112–114.
150. Каледа В. М. Биология плодоношения березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесостепных районах Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук : 06.03.03. Красноярск, 1985. 20 с.
151. Калинин М. И. Корневедение. М. : Экология, 1991. 173 с.
152. Карпова С. С. Влияние антропогенного загрязнения на цитогенетический полиморфизм семенного потомства берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в естественных и искусственных древостоях : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. к. б. н. : 03.02.08, 03.02.07. Воронеж, 2011. 23 с.

153. Кияк В. Вікова й онтогенетична структура популяції у рослин – необхідність диференціації. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2015. Вип. 70. С. 162–172.
154. Клепикова Е. А., Безель В. С., Таршис Г. И. Реакция эпидермального комплекса *Betula verrucosa* и *Plantago maior* на токсическое загрязнение среды *Сибирский экологический журнал*. 2002. № 1. С. 67–71.
155. Кобзарь В. Н. Изменчивость пыльцы и спектр аэроаллергенов в условиях экологического дисбаланса Кыргызской Республики : автореф. дис... д - ра биол. наук. : 14.00.36. Алма-Ата, 1996. 41 с.
156. Кожевников А. П., Петров А. П., Кожевникова Г. М. К истории создания стационара по изучению самозарастания песчаных отвалов Березовской обогатительной фабрики. *Леса России и хозяйство в них*. 2005. Вып. 26. С. 125–129.
157. Колесников А. И. Декоративная дендрология. М. : Лесная промышленность, 1974. 704 с.
158. Колесников Б. П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов. Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск : Наука. Сиб. Отд.-ние, 1974. С. 12–25.
159. Колмогорова Е. Ю. Морфометрическая характеристика древесных растений, произрастающих в условиях воздействия выбросов автотранспорта. *Живые и биокостные системы (Электронное периодическое издание ЮФУ)*. 2013. № 4. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-4/article-6>. 12.
160. Кондратюк Е. Н., Чайка В. Е. Восстановление биологической продуктивности земель Кривбасса, нарушенных открытыми горными разработками. Повышение эффективности открытой разработки месторождений. К. : Наук. думка, 1979. С. 225–240.
161. Константинов Е. Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида

- биоиндикатора : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Калуга, 2005. 21 с.
162. Коршиков И. И., Жуков С. П. Самовозобновление древесных растений на отвалах угольных шахт Донбасса. *Промышленная ботаника*. 2008. Вып. 8. С. 17–23.
163. Коршиков И. И. Красноштан О. В. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. Донецк, 2012. 280 с.
164. Коршиков И. И., Красноштан О. В., Лаптева Е. В. Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) на железорудных отвалах Криворожья. *Відновлення порушених природних екосистем: матер. IV міжнар. наук. конф. (Донецьк, 18–21 жовтня 2011 р.)*. Донецьк, 2011. С. 193–196.
165. Коршиков И. И., Пастернак Г. А., Красноштан О. В. Пластичность корневой системы устойчивых видов древесных растений, поселяющихся на промышленных отвалах в степной зоне Украины. *Інтродукція рослин*. 2014. № 1. С. 72–78.
166. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth. в урбосистемі м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2017. № 1. С. 28–35.
167. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ)*. Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41.
168. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Популяційна структура *Betula pendula* (*Betulaceae*) на залізорудних відвалах Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, Вип. 2. С. 90–103. DOI: 10.15407/ukrbotj77.02.090.

169. Коршиков І. І., Сулова О. П., Петрушкевич Ю. М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
170. Косников Б. И. Влияние природно-климатических факторов на плодоношение и посевные качества семян березы. *Лесное хозяйство*. 1987. № 6. С. 51–53.
171. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск : Наука, 1986. 210 с.
172. Кравчинский Д. О световом приросте в берёзовых насаждениях. *Лесной журнал* 1902. Вып. 1. С. 25–29.
173. Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 158 с.
174. Куклина Т. Э. Виды рода *Betula* L. в дендрологической структуре озеленения г. Томска : автореферат дис. ... на соиск. уч. ст. к.б.н. : 03.02.01. Томск, 2011. 22 с.
175. Куклина Т. Э., Данченко А. М. Осеннее развитие *Betula pendula* Roth. и *Betula pubescens* Ehrh. в озеленении г. Томска и пригороде. *Вестник Томского государственного университета*. 2009. № 322. С. 239–242.
176. Кулагин А. Ю., Гиниятуллин Р. Х., Уразгильдин Р. В. Средостабилизирующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Уфа : Гилем, 2010. 108 с.
177. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. М. : Наука, 1974. 124 с.
178. Кулагин Ю. З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование. М. : Наука, 1985. 117 с.
179. Куприянов П. Г. Соотносительная роль факторов, вызывающих появление дефектных пыльцевых зерен у растений в природе. *Апомиксис и цитозембриология растений*. 1983. Вып. 5. С. 3–33.
180. Курдиани С. З. Дендрология: биология и систематика важнейших лесных древесных и кустарниковых пород. Тифлис : ЗагГиз, 1934. 488 с.

181. Кутлиахметов А. Н., Кулагин А. А. Биоконсервация промышленных загрязнителей растениями берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) на антропогенно нарушенных территориях в республике Башкортостан. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13, № 1 (4). С. 857–862.
182. Кучеревський В. В. Раритетні види урбанofлори м. Кривий Ріг. *Український ботанічний журнал*. 1994. Т. 51, № 1–2. С. 197–201.
183. Левчук Л. А. Состояние березовых насаждений и вегетативное возобновление березы в условиях фтористых загрязнений : автореф. дис. ... к. с.-х. н. : 06.03.03. Свердловск, 1991. 25 с.
184. Лесная энциклопедия : в 2-х т. / гл. ред. Г. И. Воробьев; ред. кол. : Н. А. Анучин и др. М. : Сов. энциклопедия, 1985. 563 с.
185. Лещинская С. Н. Эколого-физиологические особенности березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как компонентов антропогенных лесонасаждений г. Самары : автореф. дис. ... канд. биол. наук : спец. 03.00.16. Самара, 2003. 18 с.
186. Лисогор Л. П., Красова О. О., Коршиков І. І. Дендрофлора модельних залізорудних відвалів Криворіжжя : структурний аналіз, здатність до колонізації техногенних екотопів. *Автохтонні та інтродуковані рослини*. 2017. Вип. 13. С. 36–44.
187. Литвак П. В., Ткачук В. І. Берези карельська і українська. Житомир : Волинь, 1998. 142 с.
188. Львов П. Н. О многоствольности берёзы. *Лесной журнал*. 1964. № 4. С. 170–171.
189. Маергойз И. М. Географическое учение о городах. М. : Наука, 1987. 118 с.
190. Мазур А. Ю., Кучеревський В. В. Основні напрямки наукової діяльності та етапи становлення Криворізького ботанічного саду НАН України (до 25-річчя від дня заснування). *Проблеми збереження, відновлення та збагачення біорізноманітності в умовах антропогенно*

- зміненого середовища: матер. міжн. наук. конф. (Кривий Ріг, 16–19 травня 2005 р.). Кривий Ріг, 2005. С. 44–47.
191. Малахов І. М. Техногенез у геологічному середовищі. Кривий Ріг : ОктаптПринт, 2003. 252 с.
 192. Малащенко В. В., Старшикова Л. В., Гайдученко Е. С. Стабільність розвитку *Betula pendula* Roth. в урбоєкосистемах Гомельського Полесья. *Веснік Мазырсакага дзяржаунага педагагічнага універсітэта імя І. П. Шамякіна*. 2013. Вып. 2, № 39. С. 19–26.
 193. Мандра Ю. А., Еременко Р. С. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Кисловодска на основе анализа флуктуирующей асимметрии. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010. Т. 12, № 1 (8). С. 1990–1994.
 194. Мартынюк А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения. *Лесоведение*. 2008. № 1. С. 39–45.
 195. Масікевич Ю. Г. Зміни показників фотосинтетичного апарату міської дендрофлори за умов забруднення атмосферного повітря *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2011. № 4 (49). С. 66–69.
 196. Махнев А. К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берёз секции *Albae* и *Nanae*. М. : Наука. 1987. 128 с.
 197. Махнев А. К., Мигалина С. В., Горбунова В. Д. Особенности приспособления лесообразующих видов белых берёз на пределах распространения на уровне биологических свойств семян и вегетативных органов ювенильных растений. *Аграрный вестник Урала*. 2009. № 12 (66). С. 97–100.
 198. Машкин С. И. Дендрология Центрального Чернозёмья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Том I. Воронеж : Изд-во Воронежского университета, 1971. 344 с.

199. Мельникова Т. А. Аномальная пыльца рода *Pinus* L. как индикатор палеоклиматических флюктуаций в позднем голоцене. *Вестник ДВО РАН*. 2004. № 3. С. 178–182.
200. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). М., 2003. 24 с.
201. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Біоіндикація і біотестування» призначені для студентів магістрів спеціальності 8.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища». Житомир : ЖДТУ, 2014. 25 с.
202. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева и др. СПб : НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.
203. Миленька М. М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2008. Вип. 114. С. 111–114.
204. Молотков П. І., Патлай І. М., Давидова Н. І. Насінництво лісових порід. Київ : Урожай, 1989. 232 с.
205. Молотковский Г. Х. Изучения состояния устьиц методом целлюлозных отпечатков. *ДАН СССР*. 1935. Т. 9, № 3 (8). С. 19–25.
206. Морфометрія пилоквих зерен берези бородавчастої як індикатор якості екостану / Шевцова Т. В. и др. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. Вип. 19, № 2. С. 121–138.
207. Музафарова А. А. Эколого-генетический анализ процессов лесовозобновления на отвалах горнодобывающих предприятий цветной металлургии : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. к. биол. наук : 03.00.16. Уфа, 2012. 18 с.
208. Мэннинг Дж. У., Федер У. А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л. : Гидрометеиздат, 1985. С. 18–51.

209. Найденова Л. С., Епринцев С. А., Попов В. Н. Проведение цитогенетического мониторинга в г. Воронеже, используя древесные породы деревьев, на примере берёзы повислой (*Betula pendula* Roth). *Вестник ВГУ. Серия : Химия. Биология. Фармация.* 2008. № 1. С. 115–122.
210. Неверова О. А. Поглощительная способность древесных растений как средство оптимизации среды промышленного города. *Экология промышленного производства.* 2002. № 1. С. 2–8.
211. Неверова О. А., Колмогорова Е. Ю. Древесные растения и урбанизированная среда : экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск : Наука, 2003. 222 с.
212. Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. Ботаніка. Вищі. К. : Фітосоціоцентр, 2000. 432 с.
213. Николаева Н. Н., Лери М. М., Веселкова Л. Л. Морфометрия вегетативных почек берёзы: ауксибласты. *Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды:* матер. междунар. конф. (Петрозаводск, 20–24 июня 2011 г.). Петрозаводск, 2011. С. 215–220.
214. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск : Наука, 1979. 280 с.
215. Николайчук А. М. Особенности анатомической структуры листьев древесных растений, произрастающих вблизи цементных заводов Беларуси. *Вестник ВДУ. Біялогія.* 2017. № 2 (95). С. 27–34.
216. Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной. *Хвойные бореальной зоны.* 2006. № 1. С. 1–11.
217. О возможности выявления видов – индикаторов загрязнения окружающей среды на основании анализа состояния мужской генеративной сферы цветковых растений / Веселова Т. Д. и др. *Бюл. МОИП. Отд. Биологии.* 1996. Т. 101, Вып. 4. С. 69–72.

218. Одукалець І. О. Морфолого-фізіологічні зміни деревних рослин за атмосферного забруднення. *Питання біоіндикації та екології*. 2011. Вип. 16, № 1. С. 54–78.
219. Осмонбаева К. Б. Экологические аспекты проблемы поллинозов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Бишкек, 2006. 26 с.
220. Основы микротехнических исследований в ботанике : справочное руководство / Р. П. Барыкина и др. М. : Изд. каф. высш. растений биол. ф-та Моск. гос. ун-та, 2000. 127 с.
221. Оценка состояния популяции берёзы повислой (*Betula pendula*) в ООПТ юга Сибири / Булатова Е. С. и др. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11, № 1 (3). С. 363–368.
222. П'ясківський В. М., Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В. Аналіз технологій виробництва перги. *Подільський вісник : сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 26. С. 136–149.
223. Павлов И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2006. 359 с.
224. Пархоменко Л. І. Інтродукція і культура берез в Україні. Київ : Фітосоціоцентр, 2011. 410 с.
225. Пархоменко Л. І., Ісаєнко О. В. Декоративні властивості видів берези (*Betula L.*) та перспективність їх використання у зеленому будівництві. *Ботанічні сади: проблеми інтродукції та збереження рослинного різноманіття*: матеріали всеукр. наук. конф. (м. Житомир, 10–11 жовт. 2013 р.). Житомир : ЖНАЕУ, 2013. С. 96–100.
226. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М. : Агропромиздат, 1980. 304 с.
227. Петрушкевич Ю. М. Використання *Betula pendula* в озелененні міст України. *Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки)*: матеріали всеукраїнської

- науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2016», 23–24 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.). Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2016. С. 128–131.
228. Петрушкевич Ю. М. Особливості адаптації *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Молодь і поступ біології*: збірник тез XII міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (19–21 квітня 2016 р., м. Львів). Львів, 2016. С. 99–100.
229. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на морфометричні параметри *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Рослини та урбанізація*: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (1–2 березня 2017 р., м. Дніпро). Дніпро, 2017. С. 75–77.
230. Петрушкевич Ю. М. Морфометричні параметри листкової пластинки *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених (5–10 вересня 2017 р., м. Луцьк). Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 106.
231. Петрушкевич Ю. М. Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін*: зб. ст. міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (17–21 вересня 2017 р., м. Одеса). Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.
232. Петрушкевич Ю. М. Використання *Betula pendula* Roth як біоіндикатора стану навколишнього середовища м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених (2–5 вересня, 2018 р., смт. Кирилівка). Кирилівка, 2018. С. 53.
233. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Біологія*. 2018. № 1 (72). С. 82–89.

234. Петрушкевич Ю. М. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2018. Вип. 47. С. 39–47.
235. Петрушкевич Ю. М. Анатомічна будова листків *Betula pendula* Roth в урботехногенних умовах. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених (6–9 вересня 2019 року, м. Харків)*. Харків, 2019. С. 39.
236. Петрушкевич Ю. М. Морфоструктурні зміни *Betula pendula* Roth на залізородних відвалах Кривбасу. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: збірник наукових праць за результатами роботи VI міжнародної науково-технічної конференції (м. Кривий Ріг, 22 листопада 2019 року)*. Кривий Ріг, 2019. С. 195–196.
237. Петрушкевич Ю. М. Оцінка екологічного стану Кривого Рогу за допомогою пилку *Betula pendula* Roth. *The scientific heritage*. 2019. Vol. 2, N. 40. P. 14–16.
238. Петрушкевич Ю. М., Коршиков І. І. Морфо-фізіологічна характеристика пилку *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 58–66.
239. Петрушкевич Ю. Н. Самовозобновление берёзы повислой на отвалах Кривого Рога. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України: матеріали міжнародної наукової конференції (25–27 жовтня 2016 р., м. Дніпропетровськ)*. Дніпропетровськ : Ліра, 2016. С. 53–54.
240. Петункина Л. О., Лыбина Л. М. Разработка системы контроля состояния зеленых насаждений и изучения функционального значения озеленительных, парковых и рекреационных зон. Кемерово, 1992. 41 с.
241. Плодоношение лесных пород Сибири / под. общей ред. канд. с.-х. наук Л. И. Милютин. Новосибирск : Наука, 1982. 152 с.

242. Позолотина В. Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения. Екатеринбург : Академкнига, 2003. 244 с.
243. Поляков А. К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк : Ноулидж, 2009. 268 с.
244. Попов В. К. Березовые леса Центральной лесостепи России : монография. Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 424 с.
245. Потенціал березових деревостанів українського Полісся / Лакида П. І., Матушевич Л. М., Атаманчук Р. В., Сорока М. Г. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18.6. С. 7–12.
246. Приймак П. Г. Морфологическая изменчивость берез в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове : автореф. дис... на соиск. уч. ст. к. б. н. по спец. : 03.00.16, 03.00.05. Петрозаводск, 2005. 22 с.
247. Природнича географія Кривбасу / Казаков В. Л. и др. Кривий Ріг : КДПУ, 2005. 156 с.
248. Прогноз погоды в Кривом Роге. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=33791>.
249. Профіль міста Кривий Ріг : демографія, економіка, бюджет. Проект РЕОП, 2012. 45 с.
250. Проценко Д. П., Брайон О. В. Анатомія рослин. К. : Вища школа, 1981. 420 с.
251. Работнов Т. А. Структура и методика изучения ценологических популяций многолетних травянистых растений. *Экология*. 1988. № 2. С. 5–13.
252. Радостева Э. Р. Эколого-биологическая характеристика насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) при лесной рекультивации отвалов горнодобывающей промышленности (республика Башкортостан) : автореф. дис... на соиск. уч. ст. к.б.н. : спец. 03.02.08. Уфа, 2011. 24 с.

253. Рахтеенко И. Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск : Изд.тво АН БССР, 1963. 136 с.
254. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2016 рік. Дніпро, 2017. 246 р.
255. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2017 рік. Дніпро, 2018. 317 р.
256. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2018 рік. Дніпро, 2019. 318 р.
257. Рожков В. А., Кузнецова И. В., Рахматуллоев Х. Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории : учеб.-методич. пособие. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
258. Романов В. С. Изучение сосново-березовых культур в лесах БССР : дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 1955. 18 с.
259. Савинцева Л. С. Егошина Т. Л., Ширяев В. В. Оценка качества урбаноcреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Удмуртского университета*. 2012. Вып. 2. С. 31–37.
260. Савосько В. М., Квітко М. О. Стан основних насаджень Довгинцівського дендропарку (м. Кривий Ріг). *Промышленная ботаника*. 2014. Вып. 14. С. 106–114.
261. Савосько В. М., Домшина К. М., Савосько В. В. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендроценозів степу в умовах промислового міста. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 2. С. 121–133.
262. Сафонов М. А., Сафонова Т. И. Дереворазрушающие грибы, обитающие на древесине *Betula pendula* в Южном Приуралье (Оренбургская область). *Вестник ОГУ*. 2012. № 6 (142). С. 66–71.
263. Сафонова Г. С., Рева С. В. Заселення вищими рослинами залізорудних відвалів Кривбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2009. Вип. 17, Т. 2. С. 87–94.

264. Сейдафаров Р. А., Сафиуллин Р. Р. Адаптационный потенциал основных лесообразующих видов и его реализация в условиях техногенеза. *Вестник НГУ. Серия : Биология, клиническая медицина*. 2012. Том 10, Вып. 4. С.76–82.
265. Сербін А. Г., Сіра Л. М., Слободянюк Т. О. Фармацевтична ботаніка : підруч. для вузів / за ред. Л. М. Сірої. Вінниця : Нова книга, 2007. 488 с.
266. Сергейчик С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск : Навука і техника, 1994. 279 с.
267. Сергійчук О. М., Гарбар О. В. Динаміка формування дерев'янистої рослинності на відвалах Норинського гранітного кар'єру. *Біологічні дослідження – 2015: збірник наукових праць*. 2015. Р. 292–293.
268. Синадский Ю. В. Берёза. Её вредители и болезни. Москва : Наука, 1973. 219 с.
269. Скляр В. Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник / за заг. ред. Ю. А. Злобіна. Суми : Університетська книга, 2018. 271 с.
270. Скляренко А. В. Оцінювання впливу промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula* Запоріжжя. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 6. С. 54–57.
271. Сметана М. Г. Синтаксономія степової та рудеральної рослинності Криворіжжя. Кривий Ріг : І. В. І., 2002. 132 с.
272. Сметана О. М., Долина О. О., Ярощук Ю. В. Диференціація екоотопів посттехногенних ландшафтів (гігро- та літохімічний аспект). *Біологічні системи*. 2013. Т. 5. Вип. 2. С. 206–209.
273. Смирнова О. В., Турубанова С. А., Бобровский М. В. Рекультивация карьеров в степи Украинской ССР. *Успехи современной биологии*. 2001. Т. 121, № 2. С. 144–159.
274. Смит У. Х. Лес и атмосфера. М. : Прогресс, 1985. 429 с.
275. Солнцева М., Глазунова К. Влияние промышленного и транспортного загрязнения среды на репродукцию семенных растений. *Журнал общей биологии*. 2010. Т. 71, № 2. С. 163–175.

276. Старк Н. Лесоразведение в связи с типами. М. : Работник земли и леса, 1926. 195 с.
277. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / Жиров В. К. и др. М. : Наука, 2007. 166 с.
278. Сукачёв В. Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л. : Гослестехиздат, 1938. 574 с.
279. Сунцова Л. Н., Иншаков Е. М. Древесные растения в условиях техногенной среды. *Хвойные бореальной зоны*. 2007. Т. 24, № 1. С. 95–99.
280. Таран Н. Ю. Каротиноїди фотосинтетичних тканин за умов посухи. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 1999. Т. 31, № 6. С. 414–422.
281. Толстопятенко А. И. Партенокарпия и всхожесть семян берёзы карельской. *Лесное хозяйство*. 1974. № 5. С. 40–46.
282. Топчий Н. Н. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. Т. 42, № 2. С. 95–106.
283. Турмухаметова Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды : автореф. дис. ... к.б.н. : 03.00.16. Новосибирск, 2005. 19 с.
284. Турмухаметова Н. В., Шивцова И. В. Морфологический поход к оценке состояния среды по асимметрии листа *Betula pendula* Roth. и *Fragaria vesca* L. *Лесной вестник*. 2007. № 5. С. 140–143.
285. Тюлькова Е. Г., Авдашкова Л. П. Адаптивный потенциал растительности урбанизированных территорий (на примере г. Гомеля). *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі*. 2017. № 2. С. 82–92.
286. Тюлькова Е. Г., Авдашкова Л. П. Активность фотосинтетического аппарата древесных растений в техногенных условиях (на примере промышленных предприятий Гомеля и Гомельской обл.). *Журнал Белорус. гос. ун-та. Экология*. 2018. № 1. С. 61–69.

287. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов. *Биол. науки*. 1975. Вып. 2. С. 7–34.
288. Усовик О. О. Критерии стандартизации индивидуальных аллергенов пыльцы деревьев при создании микст-аллергена. *Имунопатология, алергология, инфектология*. 2007. № 1. С. 34–41.
289. Усольцев В. А. О березе (род *Betula* L.) как поэтическом символе России. *Леса России и хозяйство в них: сб. науч. трудов*. 2007. Вып. 1, № 29. С. 61–93.
290. Усольцев В. А., Данченко А. М. Вертикальная структура кроны березы повислой. *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана*. 1981. № 9. С. 81–84.
291. Федоровский В. Д., Мазур А. Е. Древесные растения Криворожского ботанического сада. Итоги интродукции (за 25 лет). Дн., 2007. 256 с.
292. Фекета І. Ю. Фізіологія рослин. Методичні вказівки з дисципліни фізіологія рослин для студентів спеціальності 6.130400 – лісове господарство. Ужгород : Говерла, 2011. 56 с.
293. Феклистов П. А., Амосова И. Б. Морфолого-физиологические особенности берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в таежной зоне: монография. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 214 с.
294. Фізична та економічна географія Дніпропетровської області: посібник для вчителів / під ред. Г. В. Пасічного. Дніпропетровськ : Вид-во ДДУ, 1992. 188 с.
295. Футорна О., Ольшанський І., Трофименко А. Анатомо-морфологічна будова листків берези повислої (*Betula pendula* Roth) в умовах урбаносередовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*. 2014. Вип. 1, № 32. С. 55–60.
296. Харитонович Ф. Н. Древесные и кустарниковые породы для создания защитных полос. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1949. 112 с.

297. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Ленинград : Гидрометеорологическое изд-во, 1963. 568 с.
298. Хузина Г. Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Удмуртского университета*. 2010. Вып. 3. С. 53–57.
299. Цандекова О. Л., Неверова О. А. Влияние выбросов автотранспорта на пигментный комплекс листьев древесных растений. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010. Т. 12, № 1 (3). С. 853–856.
300. Царёв А. П., Погиба С. П., Тренин В. В. Генетика лесных древесных пород. Петрозаводськ : Изд-во Петрозаводс. гос. ун-та, 2000. 310 с.
301. Цаценко Л. В. Пыльцевой анализ в селекции растений. *Научный журнал КубГАУ*. 2012. № 77 (03). С. 21–32.
302. Черкашина М. В., Петухова Г. А. Влияние техногенной нагрузки на изменение содержания пигментов фотосинтеза и степени окраски древесных и травянистых растений. *Современные наукоемкие технологии*. 2007. № 5. С. 81–82.
303. Чистякова А. А. Жизненные формы и их спектры как показатели состояния вида в ценозе (на примере широколиственных деревьев). *Бюлетень Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биологии*. 1988. Т. 93. Вып. 6. С. 93–105
304. Чернозёмы СССР / под ред. В. М. Фридланда. М. : Колос, 1981. 265 с.
305. Шабалина О. М., Демьяненко Т. Н. Оценка влияния загрязнения среды и почвенных факторов на показатели флуктуирующей асимметрии листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в г. Красноярске. *Вестник КрасГАУ*. 2011. № 12. С. 135–140.
306. Шадрин В. А., Ефимова Т. П. Деревья и кустарники Удмуртии : определитель. Ижевск : Изд-во Удм. ун-та, 1996. 152 с.
307. Шамраев А. В., Байкарова А. А., Баталова Д. Н. Сравнительный анализ состояния посадок березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в предгорьях

- Южного Урала. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 8. С. 42–44.
308. Шиманюк А. П. Дендрология. М. : Лесная промышленность, 1967. 334 с.
309. Шмальгаузен И. И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М., 1982. 364 с.
310. Шубина А. Г. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) растущих в г. Тамбове. *Вестник ТГУ*. 2011. Т. 16, Вып. 1. С. 353–355.
311. Шульгин И. А. Растение и солнце. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 251 с.
312. Щепотьев Ф. Л. Дендрология : учебное пособие. К. : Вища школа, 1990. 287 с.
313. Юсипіва Т. Зміни анатомічних характеристик стебла однорічного пагона *Betula pendula* Roth. за дії антропогенного навантаження. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2016. Вип. 72. С. 125–133.
314. Юсипіва Т., Вегерич В. Динаміка вмісту фотосинтезувальних пігментів у листках деревних рослин у техногенних умовах зростання. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 65. С. 189–196.
315. Юсипіва Т. І., Заморена В. С. Изменения биометрических параметров однолетнего побега *Betula pendula* Roth. в условиях техногенеза. *Бъдщето въпроси от света на наука та: материали за VII междунар. науч. практ. конф. (17–25 декември 2011 г., София)*. София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2011. С. 23–25.
316. Ющук Е. Д. Некоторые изменения почв под лесной растительностью в техногенных ландшафтах Криворожского железорудного бассейна. *Биогеоценологические исследования степных лесов, их охрана и рациональное использование*. 1983. Вып. 13. С. 94–103.

317. Ющук Е. Д. Взаимодействие лесных насаждений с почвой в условиях промышленных загрязнений Кривбасса. *Охрана и рациональное использование лесов степной зоны*. Днепропетровск : ДГУ, 1987. С. 148–158.
318. Якимов Н. И., Крук Н. К., Юренин А. В. Особенности агротехники выращивания сеянцев берёзы повислой в лесных питомниках. *Труды БГТУ*. 2013. № 1. С. 196–199.
319. Яковлев Г. М. Ботаника: учебник для вузов / под. ред. чл.-корр. РАН, профессора Р. В. Камелина. СПб. : СпецЛит, Издательство СПХФА, 2001. 680 с.
320. Ярков С. В. Гірничопромислові ландшафти Кривбасу як рефугіуми зональної рослинності. *Географічні дослідження Кривбасу: матеріали кафедральних науково-дослідницьких тем*. Вип. 2. Кривий Ріг : Видавничий дім, 2007. С. 27–35.
321. Anamthawat-Jonsson K., Karlsdottir L. Birch pollen – the key to unlock hidden cases of species. *European microscopy congress 2016* (Lyon, France: August 22, 2016). Lyon, 2016. P. 330–331. DOI: 10.1002/9783527808465.EMC2016.5043.
322. Anatomical and physiological plasticity in *Leymus chinensis* (*Poaceae*) along large-scale longitudinal gradient in northeast China / Wang R. et al. PLoS ONE. 2011. Vol. 6, Iss. 11. P. 1–8. DOI: 10.1371/journal.pone.0026209.
323. Antioxidative and antifungal response of woody species to environmental conditions in the urban area / Šuškalo N. et al. *Ecotoxicology*. 2018. Vol. 27, N. 8. P. 1095–1106. DOI: 10.1007/s10646-018-1963-z.
324. Antosiewicz Z. Zbiór i przechowywanie nasion brzozy. *Las polski*. 1975. Vol. 13–14. P. 15–16.
325. APG IV system. URL: https://www.wikiwand.com/en/APG_IV_system (дата звернення: 10.06.2018).

326. Ashburner K., McAllister H. A. The genus *Betula*: a taxonomic revision of birches. London : Kew Press., 2013. 431 p.
327. Assessment of vegetation performance on semicoke dumps of Kohtla-Järve oil shale industry, Estonia / Vaht R. et al. *Estonian journal of ecology*. 2010. Vol. 59, N. 1. P. 3–18. DOI: 10.3176/eco.2010.1.01.
328. Atkinson M. D. *Betula pendula* Roth (*B. verrucosa* Ehrh.) and *B. pubescens* Ehrh. *Journal of ecology*. 1992. Vol. 80, N. 4. P. 837–870. DOI: 10.2307/2260870.
329. Augustaitis A., Sopauskiene D., Bauziene I. Direct and indirect effect of regional air pollution on tree crown defoliation. *Baltic Forestry*. 2010. Vol. 16, N. 1. P. 23–34.
330. Banaszek J., Leksy M., Rahmonov O. The role of spontaneous succession in reclamation of mining waste tip in area of Ruda Slaska city. *Environmental engineering: 10th international conference Vilnius gediminas technical university (Lithuania, 27–28 April 2017)*. Vilnius, 2017. DOI: 10.3846/enviro.2017.098.
331. Bednařova E., Kučera J. Monitoring the damage to epicuticular waxes at silver birch (*Betula pendula* Roth.) in the changing air pollution spectrum of the Ore Mountains. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*. 2011. Vol. 59, N. 5. C. 9–16. DOI: 10.11118/actaun201159050009.
332. *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe : distribution, habitat, usage and threats / Beck P. et al. *European atlas of forest tree species*. Luxembourg, 2016. P. 70–73. DOI: 10.2788/4251.
333. Bioaccumulation of arsenic and cadmium in birch and lime from the bor region / Alagić S. Č. et al. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 2013. Vol. 65, N. 4. P. 671–682. DOI: 10.1007/s00244-013-9948-7.

334. Biological monitoring of road-side plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city / Wagh N. D. et al. *Journal environment biology*. Vol. 27, N. 2. P. 419–421.
335. Biomonitoring of urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics / Balasooriya L. W. K. et al. *Environmental and experimental botany*. 2009. Vol. 65, N. 2. P. 386–394. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.11.009.
336. Birch (*Betula pendula* Roth.) responses to high UV-B radiation / Wulff A. et al. *Boreal environment research*. 1999. Vol. 4. P. 77–88.
337. Bhatia S. C. Environmental chemistry. New Delhi, 2006. 549 p.
338. Black-Samuelsson S., Andersson S. The effect of nutrient stress on developmental instability in leaves of *Acer platanoides* (Aceraceae) and *Betula pendula* (Betulaceae). *American journal of botany*. 2003. Vol. 90, N. 8. P. 1107–1112. DOI: 10.3732/ajb.90.8.1107.
339. Bodył M. Zmienność żywotności nasion brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) na terenie Polski w latach 1995–2004. *Sylwan*. 2006. Vol. 4. P. 26–32.
340. Brachytecium rutabulum and *Betula pendula* as bioindicators of heavy metal pollution around a chlor-alkali plant in Poland / Kolon K. et al. *Ecological indicators*. 2015. Vol. 52. P. 404–410. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.12.031.
341. Brodribb T. J., Jordan G. J., Carpenter R. S. Unified changes in cells size permit coordinated leaf evolution. *New phytologist*. 2013. Vol. 199. P. 559–570. DOI: 10.1111/nph.12300.
342. Brown M. T., Wilkins D. A. The effects of zinc on germination, survival and growth of *Betula* seed. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*. 1986. Vol. 41, N. 1. P. 53–61. DOI: 10.1016/0143-1471(86)90106-6.

343. Butkus D., Baltrėnaitė E. Transport of heavy metals from soil to *Pinus sylvestris* L. and *Betula pendula* trees. *Ekologija*. 2007. Vol. 53, N. 1. P. 29–36.
344. Characteristics of pollen from natural triploid *Betula* hybrids / Karlsdottir L. et al. *Grana*. 2008. Vol. 47, Iss. 1. P. 52–59. DOI: 10.1080/00173130801927498.
345. Chen Z-D, Manchester S. R., Sun H-Y. Phylogeny and evolution of the Betulaceae as inferred from DNA sequences, morphology, and paleobotany. *American journal of botany*. 1999. Vol. 86, N. 8. P. 1168–1181.
346. Christian messier effects of urbanization on tree species functional diversity in eastern North America / Nock Ch. A. et al. *Ecosystems*. 2013. Vol. 16, N. 8. P. 1–11. DOI: 10.1007/s10021-013-9697-5.
347. Climatological analysis of Summer 2012 for Serbia / Smailagić J. et al. *Seasonal bulletin, republic hydrometeorological service of Serbia*. 2012. P. 1–11.
348. Comparative leaf morphometrics of two urban tree species : an assessment to air pollution impacts / Aribal L. et al. *Journal of biodiversity and environmental science*. 2016. Vol. 9, N. 1. P. 106–115.
349. Consensus document on the biology of european white birch (*Betula pendula* Roth). Paris : ENV/JM/MONO, 2003. N. 28. 48 p.
350. Cooke J. A., Johnson M. S. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: a review of theory and practice. *Biological & Biotechnological sciences*. 2002. Vol. 10, Iss. 1. P. 41–71. DOI: 10.1139/a01-014.
351. Cudin P., Chmelikova E. Degradation and restoration processes in crowns and fine roots of polluted montane Norway spruce ecosystems. *Phyton*. 1996. Vol. 36, N. 3. P. 69–76.
352. Daily G. C. Restoring value to the world's degraded lands. *Science*. 1995. Vol. 269. P. 350–354.

353. Demmig-Adams B., Gilmore A. M., Adams W. W. Carotenoids III : in vivo function of carotenoids in higher plants. *FASEB J.* 1996. Vol. 10, N. 4. P. 403–412.
354. Determining the composition of lignins in different tissues of silver birch / Fagerstedt K. V. et al. *Plants.* 2015. Vol. 4, N. 2. P. 183–195. DOI: 10.3390/plants4020183.
355. Differentiation and structural decline in the leaves and bark of birch (*Betula pendula*) under low ozone concentrations / Günthardt-Goerg M. S. et al. *Trees.* 1993. Vol. 7, N. 2. P. 104–114. DOI: 10.1007/BF00225477.
356. Dineva S. B. Comparative studies on the leaf morphology and structure of white ash *Fraxinus americana* L. and London plane tree *Platanus acerifolia* Willd growing in pollutes area. *Dendrobiology.* 2004. Vol. 52. P. 3–8.
357. Dzierżanowski K., Gawroński S. W. Use of trees for reducing particulate matter pollution in air. *Challenges of modern technology.* 2011. Vol. 184. P. 69–73.
358. Effects of experimental warming on stomatal traits in leaves of maize (*Zea mays* L.) / Zheng Y. P. et al. *Ecology and evolution.* 2013. Vol. 3, N. 9. P. 3095–3111. DOI: 10.1002/ece3.674.
359. Effect of industrial effluents on the growth and anatomical structures of *Abelmoschus esculentus* (okra) / Uaboi-Egbenni P. O. et al. *African journal of biotechnology.* 2009. Vol. 8, N. 14. P. 3251–3260.
360. Effects of natural winter browsing and simulated summer browsing by moose on growth and shoot biomass of birch and its associated invertebrate fauna Finnish / Herder M. D. et al. *Annales zoologici fennici.* 2009. Vol. 46. P. 63–74. DOI: 10.5735/086.046.0107.
361. Effect of wood ash on leaf and shoot anatomy, photosynthesis and carbohydrate concentrations in birch on a cutaway peatland / Aguraijuja K. et al. *Environmental Monitoring and Assessment* 2015. Vol. 187. P. 444–456. DOI: 10.1007/s10661-015-4681-5.
362. Ehrhart J. F. Beiträge zur Naturkunde. Hannover-Osnabrück, 1971. Vol. 6.

363. Ehrlich P. R. The scale of the human enterprise. *Nature conservation 3 : Reconstruction of fragmented ecosystems-global and regional perspectives /* edited by D. A. Saunders, R. J. Hobbs, P. R. Ehrlich. New South Wales, 1993. P. 3–8.
364. Elemental analysis of pollen grain surface : relation to allergenic character and use as a pollution marker / Cerceau-Larrival M. T. et. al. *Journal of trace and microprobe techniques*. 1994. Vol. 12. P. 37–50.
365. Elements of the polycomb repressor SU (Z) 12 needed for histone H3-K27 methylation, the interface with E (Z), and in vivo function / Rai A. N. et al. *Molecular and cellular biology*. 2013. Vol. 33, N. 24. P. 4844–4856. DOI: 10.1128/MCB.00307-13.
366. Exposure of *Betula pendula* Roth pollen to atmospheric pollutants CO, O₃ and SO₂ / Cuinica L. G. et al. *Grana*. 2013. Vol. 52, № 4. P. 299–304. DOI: 10.1080/00173134.2013.830145.
367. Fernald M. L. The relationships of some American and old world birches. *American journal of science*. 1902. Vol. XIV, N. 23. P. 167–194. DOI: 10.2475/ajs.s4-14.81.167.
368. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications / Graham J. H. et al. *Symmetry*. 2010. Vol. 2, N. 2. P. 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466.
369. Fluctuation of birch (*Betula* L.) pollen seasons in Poland / Puc M. et al. *Acta agrobotanica*. 2015. Vol. 68, N. 4. P. 303–313. DOI: 10.5586/aa.2015.041.
370. Fostad O., Pedersen P. A. Vitality, variation, and causes of decline of trees in Oslo center (Norway). *Journal of Arboriculture*. 1997. Vol. 23, N. 4. P. 155–165.
371. Franiel I., Babczynska A. The growth and reproductive effort of *Betula pendula* Roth in a heavy-metals polluted area. *Polish journal of environmental studies*. 2011. Vol. 20, N. 4. P. 1097–1101.
372. Franiel I., Błocka A. The seeds quality of *Betula pendula* Roth and *Betula oscura* Kotula from semi-natural and anthropogenic habitats. *Pakistan*

- journal of biological sciences*. 2008. Vol. 11, N. 11. 1455–1460. DOI: 10.3923/pjbs.2008.1455.1460.
373. Franiel I., Więski K. Leaf features of silver birch (*Betula pendula* Roth). Variability within and between two populations (uncontaminated vs Pb-contaminated and Zn-contaminated site). *Trees*. 2005. Vol. 19, N. 1. P. 81–88. DOI: 10.1007/s00468-004-0366-3.
374. Freeman D. C., Graham J. H., Emlen J. M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis. *Genetica*. 1993. Vol. 89. P. 97–119.
375. Free-Smith P. H., El-Khatib A. A., Taylor G. Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (*Ficus nitida* and *Eucalyptus globules*) with European and North American species. *Water, air and soil pollution*. 2004. Vol. 155, N. 1. P. 173–187. DOI: 10.1023/B:WATE.0000026521.99552.fd.
376. Gilman E. F., Watson D. G. *Betula pendula* / European birch. *Fact Sheet ST-97*. 1993. P. 1–3.
377. Global change and the ecology of cities / Grimm N. B. et al. *Science*. 2008. Vol. 319, N. 5864. P. 756–760. DOI: 10.1126/science.1150195.
378. Goransson A. Growth and nutrition of small *Betula pendula* plants at different relative addition rates of manganese. *Tree physiology*. 1994. Vol. 14, N. 4. P. 375–388. DOI: 10.1093/treephys/14.4.375.
379. Granstrom A., Fries C. Depletion of viable seeds of *Betula pubescens* and *Betula verrucosa* sown onto some north Swedish forest soils. *Canadian journal of forest research*. 1985. Vol. 15. P. 1176–1180.
380. Gratani L., Crescente M. F., Petruzzi C. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* L. in polluted urban areas (Rome). *Environmental pollution*. 2000. Vol. 110, N. 1. P. 19–28.
381. Green S. Birch dieback in Scotland. *Forestry commission*. 2005. P. 1–6.
382. Growth and stomatal responses of birch (*Betula pendula* Roth.) clones to ozone in open-air and chamber fumigations / Paakkonen E. et al. *New*

- phytologist*. 1993. Vol. 125, Iss. 3. P. 615–623. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03911.x.
383. Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry. *Biological journal of the Linnean society* / Graham J. H. et al. 2003. Vol. 80, Iss. 1. P. 57–65. DOI: 10.1046/j.1095-8312.2003.00220.x.
384. Growth responses of *Betula pendula* ecotypes to red and far-red light / Tsegay B. A. et al. *Electronic journal of biotechnology*. 2005. Vol. 8, N.1. P. 17–23. DOI: 10.4067/S0717-34582005000100005.
385. Gul H., Ahmad R. Effect of salinity on pollen viability of different canola (*Brassica napus* L.) cultivars as reflected by the formation of fruits and seeds. *The Pakistan journal of botany*. 2006. Vol. 38, Iss. 2. P. 237–247.
386. Ha J., Martinez H. Influence of environmental pollution on leaf properties of urban trees in China and USA: a comparative study using stomatal density. *Asian Journal of Plant Science and Research*. 2018. Vol. 8, N. 6. P. 1–7. DOI: 10.1007/s00128-010-0047-4.
387. Hallgrímsson B., Willmore K., Hall B. K. Canalization, developmental stability, and morphological integration in primate limbs. *American journal of physical anthropology*. 2002. Vol. 119, Iss. S35. P. 131–158. DOI: 10.1002/ajpa.10182.
388. Heath R. L. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Annual review of plant physiology*. 1980. Vol. 31, N. 1. P. 395–431. DOI: 10.1146/annurev.pp.31.060180.002143.
389. Heavy metals accumulation in soil and plants of Polish peat bogs / Borgulat J. et al. *Polish Journal of environmental studies*. 2018. Vol. 27, N. 2. P. 1–8. DOI: 10.15244/pjoes/75823.
390. Heavy metal accumulation in urban soils and deciduous trees in the city of Bolzano, N Italy / Dadea C. et al. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*. 2016. Heft 15. S. 35–42.

391. Hetherington A. M., Woodward F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*. 2003. Vol. 424, N. 6951. P. 901–908. DOI: 10.1038/nature01843.
392. Hrdlička P., Kula E. Element content in leaves of birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) in an air polluted area. *Trees*. 1998. Vol. 13. P. 68–73. DOI: 10.1007/PL00009740.
393. Hytönen J., Jylhä P. Effects of competing vegetation and post-planting weed control on the mortality, growth and vole damages to *Betula pendula* planted on former agricultural land. *Silva Fennica*. 2005. Vol. 39, N. 3. P. 365–380. DOI: 10.14214/sf.374.
394. Indication of airborne pollution by birch and spruce in the vicinity of copper smelter / Serbula S. M. et al. *Environmental science and pollution research*. 2014. Vol. 21, N. 19. P. 11510–11520. DOI: 10.1007/s11356-014-3120-4.
395. Influence of ozone and nitrogen deposition on bark beetle activity under drought conditions / Jones M. E. et al. *Forest ecology and management*. 2004. Vol. 200, N. 1–3. P. 67–76. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.06.003.
396. Influence of the dump sites on development of selected plant tissues at the Ľubietová area (Slovakia) / Andráš P. et al. *Acta facultatis ecologiae*. 2007. Vol. 16, Suppl. 1. P. 147–158.
397. Interspecific differences of antioxidant ability of introduced Chaenomeles species with respect to adaptation to the steppe zone conditions / Khromykh N. et al. *Biosystems diversity*. 2018. Vol. 26, N. 2. P. 132–138. DOI: 10.15421/011821.
398. Janjić N., Hasanagić D., Maksimović T. Stomatal apparatus response of *Tilia cordata* (Mill.) and *Betula pendula* (Roth.) to air quality conditions in the city of Banja Luka (Bosnia and Herzegovina). *Biologia Serbica*. 2017. Vol. 39, N. 2. P. 9–16. DOI: 10.5281/zenodo.827182.
399. Johansson T. Growth and yield in shelter stands of silver birch and norway spruce Swedish university of agricultural sciences: report. Uppsala, 2014. 31 p.

400. Kabata-Pendias A., Pendias, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, London, New York, Washington : CRC Press, 2001. 403 c.
401. Kalaev V. N., Karpova S. S. The influence of air pollution on cytogenetic characteristics of birch seed progeny. *Forest genetics*. 2003. Vol. 10, N. 1. C. 11–18.
402. Kalaev V. N., Karpova S. S., Artyukhov V. G. Cytogenetic characteristics of weeping birch (*Betula pendula* Roth) seed progeny in different ecological conditions. *Bioremediation, biodiversity and bioavailability*. 2010. Vol. 4, N. 1. P. 77–83.
403. Kalandadze B. Influence of the ore mining and processing enterprise on soil types in adjoining areas. *Agron. res*. 2003. Vol. 1. P. 131–137.
404. Kasperidus H. D. Stadte, urbanisierung und struktur der stadt aus okologischer Sicht. *Stadtokologie und kleingarten – verbesserte chancen fur die umwelt* (Tagung, Oldenburg, 10–12 Mai 2002). Oldenburg, 2002. S. 27–48.
405. Kavka B. Sadovnická dendrologie I. Listnaté dřeviny. Brno, 1995. 203 s.
406. Keller Th. Bucher zur SO₂ – Empfindlichkeit der Laubbaumarten. *Schweiz. z. forsrw*. 1976. Bd 127, Num. 7. S. 476–484.
407. Kicińska A., Gruszecka-Kosowska A. Long-term changes of metal contents in two metallophyte species (Olkusz area of Zn-Pb ores, Poland). *Environmental monitoring and assessment*. 2016. Vol. 188, N. 6. P. 339 (1–12). DOI: 10.1007/s10661-016-5330-3.
408. Kirkey F. M., Matthews J., Ryser P. Metal resistance in populations of red maple (*Acer rubrum* L.) and white birch (*Betula papyrifera* Marsh.) from a metal-contaminated region and neighbouring non-contaminated regions. *Environmental pollution*. 2012. Vol. 164. P. 53–58. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.01.012. Epub 2012 Feb 14.
409. Kitao M., Lei T. T., Koike T. Effects of manganese toxicity on photosynthesis of the white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) seedlings. *Physiologia plantarum*. 1997. Vol. 101. P. 249–256.

410. Kitao M., Lei T. T., Koike T. Effects of manganese in solution culture on the growth of five deciduous broad-leaved tree species with different successional characters from Northern Japan. *Photosynthetica*. 1999. Vol. 36, N. 1, 31–40. DOI: 10.1023/A:1007058418199.
411. Klingenberg C. P., Zaklan S. D. Morphological integration between developmental compartments in the *Drosophila* Wing. *Evolution*. 2000. Vol. 54, N. 4. P. 1273–1285.
412. Kovacic S., Nikolic T. Relations between *Betula pendula* Roth. (Betulaceae) leaf morphology and environmental factors in five regions of Croatia. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 2005. Vol. 47, N. 2. P. 7–13.
413. Kramer D. M., Avenson T. J., Edwards G. E. Dynamic flexibility in the light reactions of photosynthesis is governed by electron and proton transfer reactions. *Trends in plant science*. 2004. Vol. 9, N. 7. P. 349–357.
414. Kuddus M., Kumari R., Ramteke P. W. Studies on air pollution tolerance of selected plants in Allahabad city, India. *Journal of environmental research and management*. 2011. Vol. 2, N. 3. P. 042–046.
415. Kullman L. 20th century climate warming and tree-limit rise in the Southern Scandes of Sweden. *Journal of the human environment*. 2001. Vol. 30, N. 2. P. 72–80. DOI: 10.1579/0044-7447-30.2.72.
416. Kurteva M., Stambolieva K. *Acer pseudoplatanus* L., *Acer platanoides* L. and *Betula pendula* Roth. as bioindicators of urban pollution in Sofia. *Silva Balcanica*. 2007. Vol. 8, N. 1. P. 32–46.
417. Laitakari K. Literární rozhledy. *Lesn. Práce*. 1936. Vol. 15 P. 124–126.
418. Laurence J. A., Weinstein L. H. Effects of air pollutants on plant productivity. *Annual review of phytopathology*. 1981. Vol. 19. P. 257–271. DOI: 10.1146/annurev.py.19.090181.001353.
419. Leaf anatomy and stomatal morphology of greenhouse roses grown at moderate or high air humidity / Torre S. et al. *Journal of the American society for horticultural science*. 2003. Vol. 128, N. 4. P. 598–602. DOI: 10.21273/JASHS.128.4.0598.

420. Leaf photosynthetic characteristics of silver birch during three years of exposure to elevated concentrations of CO₂ and O₃ in the field / Riikonen J. et al. *Tree Physiology*. 2005. Vol. 25. P. 621–632. DOI: 10.1093/treephys/25.5.621
421. Leary R. F., Allendorf F. W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology. *Trends ecol. evol.* 1989. Vol. 4. P. 214–217. DOI: 10.1016/0169-5347(89)90077-3.
422. Lichtenthaler H. K., Kuhn G, Prenzel U. Adaptation of chloroplast-ultrastructure and chlorophyll-protein levels to high-light and low-light growth conditions. *Zeitschrift für naturforschung*. 1982. Vol. 37, Iss. 5–6. P. 464–475. DOI: 10.1515/znc-1982-5-619.
423. Linnaeus C. *Systema naturæ, sive regna tria naturæ systematice proposita per classes, ordines, genera, & species*. Lugduni Batavorum, 1735. P. 1–12.
424. Maleki K., Kiviste A. Individual tree mortality of silver birch (*Betula pendula* Roth) in Estonia. *iForest – biogeosciences and forestry*. 2016. Vol. 9, Iss. 4, P. 643-651. DOI: 10.3832/ifor1672-008.
425. Møller A. P., Swaddle J. P. *Asymmetry, developmental stability, and evolution*. Oxford, UK : Oxford University Press, 1997. 29 p.
426. Morphological differentiation of *Betula* (birch) pollen in northwest North America and its palaeoecological application / Clegg B. F. et al. *The Holocene*. 2005. Vol. 15, N. 2. P. 229–237. DOI: 10.1191/0959683605hl788rp.
427. Morphological variation in the seed of gray birch (*Betula populifolia*) : the effects of soil-metal contamination / Gallagher F. J. et al. *Urban habitats*. 2011. Vol. 6, N. 1. P. 1–11.
428. Mott K. A. Stomatal responses to light and CO₂ depend on the mesophyll. *Plant, cell & environment*. 2009. Vol. 32, Iss. 11. P. 1479–1486. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.02022.x.
429. Moyer D. Th., Hendricks R. H. *Effects of air pollution on plants*. *Air pollution*. 1961. 239 p.

430. Neverova O. A., Legoshchina O. M., Bykov A. A. Anatomy of leaves of *Betula pendula* (Roth.) affected by air emissions in industrial area of Kemerovo City. *Middle East journal of scientific research*. 2013. Vol. 17, N. 3. P. 354–358. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.03.12143.
431. Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? / Jochner S. et al. *Journal of Experimental Botany*. 2013. Vol. 64, N. 7. P. 2081–2092. DOI: 10.1093/jxb/ert061.
432. O'Connor E. Progress in the selection and improvement of Irish birch and alder in forestry and wood update. *COFORD Connects: Reproductive material*. 2007. N. 10. URL: <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/birch.pdf>.
433. O'Dowd N. The improvement of Irish birch. Phase 1 : Selection of individuals and populations. Ireland : COFORD, 2004. 65 p.
434. Oksanen E. Responses of selected birch (*Betula pendula* Roth) clones to ozone change over time. *Plant, Cell and Environment*. 2003. Vol. 26. P. 875–886. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.01020.x.
435. Oksanen E., Saleem A. Ozone exposure results in various carry-over effects and prolonged reduction in biomass in birch (*Betula pendula* Roth). *Plant, cell and environment*. 1999. Vol. 22, Iss. 11. P. 1401–1411. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1999.00501.x.
436. Onete M. P., Pop O. G., Gruia R. Plants as indicators of environmental conditions of urban spaces from central parks of Bucharest. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2010. Vol. 9, N. 12. P. 1637–1645.
437. Paakkonen E., Gunthardt-Goerg M. S., Holopainen T. Responses of leaf processes in a sensitive birch (*Betula pendula* Roth) clone to ozone combined with drought. *Annals of Botany*. 1998. Vol. 82. P. 49–59. DOI: 10.1006/anbo.1998.0656.
438. Patra M., Sharma A. S. Mercury toxicity in plants. *The botanical review*. 2000. Vol. 66, N. 3. P. 379–422. DOI: 10.1007/BF02868923.

439. Peltonen P. A., Vapaavuori E., Julkunen-tiitto R. Accumulation of phenolic compounds in birch leaves is changed by elevated carbon dioxide and ozone. *Global change biology*. 2005. Vol. 11, N. 8. P. 1305–1324. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.00979.x.
440. Petrova S. T. Biomonitoring study of air pollution with *Betula pendula* Roth., from Plovdiv, Bulgaria. *Ecologia Balkanica*. 2011. Vol. 3, N. 1. P. 1–10.
441. Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research*. 2014. Vol. 5, N. 2. P. 196–202. DOI: 10.5094/APR.2014.024.
442. Petrushkevich Yu. *Betula pendula* on the iron ore dumps of the Kryvyi Rih. *Applied biotechnology in mining: agenda of the international conference (25–27th April, 2018)*. Dnipro, 2018. P. 35.
443. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005.
444. Photosynthesis of birch (*Betula pendula*) is sensitive to springtime frost and ozone / Oksanen E. et al. *Canadian journal of forest research*. 2005. Vol. 35, N. 3. P. 703–712. DOI: 10.1139/X05-007.
445. Photosynthetic response of early and late leaves of white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) grown under free-air ozone exposure / Hoshika Y. et al. *Environment Pollution*. 2013. Vol. 182. P. 242–247. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.07.033.
446. Physiological responses of *Betula pendula* Roth growing in polluted areas / Czaja M. et al. *Ecological questions*. 2016. Vol. 22. P. 39–46. DOI: 10.12775/EQ.2015.021.
447. Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge / Mleczek M. et al. *Environmental science and*

- pollution research international*. 2017. Vol. 24, N. 28. P. 22183–22195. DOI: 10.1007/s11356-017-9842-3.
448. Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (*Betula pendula* Roth) / Dmuchowski W. et al. *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 71. P. 32–35. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.07.053.
449. Phytosociological research of the pure *Betula pendula* orests in Greece: rhodope mountain range (NE Greece) / Theodoropoulos K. et al. *Annali di botanica (nuova serie)*. 2003. Vol. 3. P. 75–90. DOI: 10.4462/annbotrm-9197.
450. Pietrzykowski M. Reclamation and reconstruction of terrestrial ecosystems on mine sites – ecological effectiveness assessment. *Govil JN, et al. Series: energy science and technology, coal energy*. 2015. Vol. 2. P. 121–151.
451. Piotrowska K., Panek E. Testing of selected phytoindicators for the environmental assessment of areas under various levels of pollution. *Geomatics and environmental engineering*. 2012. Vol. 6, N. 4. P. 73–81.
452. Plants in air phytoremediation / Gawronski S. W. et al. *Advances in botanical research*. 2017. Vol. 83. P. 319–346. DOI: 10.1016/bs.abr.2016.12.008.
453. Pollen microscopic identification of allergenic species in Oradea area / Pallag S. et al. *Analele universității din oradea, fascicula protecția mediului*. 2011. N. 16. P. 130–136.
454. Pollen-tube growth rate and seed-siring success among *Betula pendula* clones / Pasonen H. L. et al. *New phytol.* 1999. Vol. 143, Iss. 2. P. 243–251. DOI: 10.1046/j.1469-8137.1999.00451.x.
455. Popova E. I. Accumulation of heavy metals in birch and pine forest roadside phytocenoses in the south of Tyumen region. *Biosystems diversity*. 2018. Vol. 26, N. 3. P. 233–238. DOI: 10.15421/011835.
456. Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark – experience in Serbia / Pavlovic D. et al. *Journal of the*

- Serbian chemical society*. 2017. Vol. 82, N. 6. P. 723–737. DOI: 10.2298/JSC170113024P.
457. Prach K., Pysek P. Spontaneous establishment of woody plants in Central European Derelict sites and their potential for reclamation. *Restorntion ecology*. 1994. Vol. 2, Iss. 3. P. 190–197. DOI: 10.1111/j.1526-100X.1994.tb00066.x.
458. Ranney T. G., Bir' R. E., Skroch W. A Comparative drought resistance among six species of birch (*Betula*) : influence of mild water stress on water relations and leaf gas exchange. *Tree physiology*. 1991. Vol. 8. P. 351–360. DOI: 10.1093/treephys/8.4.351.
459. Ranney T. G., Peet M. M. Heat tolerance of five taxa of birch (*Betula*): Physiological responses to supraoptimal leaf temperatures. *Journal of the American society for horticultural science*. *American society for horticultural science*. 1994. Vol. 119, Iss. 2. P. 243–248. DOI: 10.21273/JASHS.119.2.243.
460. Rao M. V., Dubey P. S. Detoxifying mechanism: probable role in determining the plant response to SO₂ under different light intensities. *Indian Journal of environment and toxicology*. 1991. Vol. 1, N. 1. P. 39–45.
461. Rebele F. Colonization and early succession on anthropogenic soils. *Journal of vegetation science*. 1992. Vol. 3, Iss. 2. P. 201–208. DOI: 10.2307/3235680.
462. Regel E. Monographische Bearbeitung der Betulaceen. Moscow : Universtie impériale, 1861. 187 p.
463. Rey A., Jarvis P. G. Long-term photosynthetic acclimation to increased atmospheric CO₂ concentration in young birch (*Betula pendula*) trees. *Tree physiology*. 1998. Vol. 18, Iss. 7. P. 441–450. DOI: 10.1093/treephys/18.7.441.
464. Richardson A. D., Duigan S. P., Berlyn G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New phytologist*. 2002. Vol. 153, Iss. 1. P. 185–194. DOI: 10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x.

465. Robinson D. L. Air pollution in Australia: review of costs, sources and potential solutions. *Health promotion journal of Australia*. 2005. Vol. 16, N. 3. P. 213–220. DOI: 10.1071/he05213.
466. Roth A. W. Tentamen Florae Germanicae. Lipsiae, 1788. Vol. 1. 405 p.
467. Rozwałka Z. Zasady Hodowli Lasu. Warszawa, 2003. 159 s.
468. Samecka-Cymerman A., Kolon K., Kempers A. Shot shoots of *Betula pendula* Roth as a bioindicators of urban environmental pollution in Wrocław (Poland). *Trees*. 2009. Vol. 23. 923–929. DOI: 10.1007/s00468-009-0334-z.
469. Saramaaki J., Hytonen J. Nutritional status and development of mixed plantations of silver birch (*Betula pendula* Roth) and downy birch (*Betula pubescens* Erth.) plantations on former agricultural soils. *Baltic forestry*. 2004. Vol. 10, N. 1 (18). P. 2–11.
470. Schütt P. Symptoms as bioindicators of decline in European forests. *Biologic markers of air-pollution stress and damage in forests*. Washington : National academy press, 1989. P. 119–124.
471. Sharma S., Prasad F. M. Accumulation of lead and cadmium in soil and vegetable crops along major highways in Agra (India). *Electronic. j. chem.*, 2010. Vol. 7. P. 1174–1183. DOI: 10.1155/2010/678589.
472. Shyam S., Nath K., Singh, D. Harmful effects of air pollutants in biochemical parameters of plants. *Research in environment and life sciences*. 2008. Vol. 1, N. 2. P. 65–68.
473. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe / Hynynen et al. *Forestry*. 2010. Vol. 83, Iss. 1. P. 103–119. DOI: 10.1093/forestry/cpp035.
474. Skvortsov A. K. A new system of the genus *Betula* L. – the birch. 2002. *Bulletin of Moscow society of naturalist*. Vol. 107. P. 73–76.
475. Sodhi G. S. Fundamental concepts of environmental chemistry, second edition. Harrow, U. K. : Alpha Science International, 2007. 479 p.

476. Spatial aspects of the influence of silver birch (*Betula pendula* L.) on growth and quality of young oaks (*Quercus* spp.) in central Germany / Rock J. et al. *Forestry*. 2004. Vol. 77, N. 3. P. 234–247. DOI: 10.1093/forestry/77.3.235.
477. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO₂ enrichment in maize leaves / Driscoll S. et al. *Journal of experimental botany*. 2006. Vol. 57, N. 2. P. 381–390.
478. Structural characteristics and chemical composition of birch (*Betula pendula*) leaves are modified by increasing CO₂ and ozone / Oksanen E. et al. *Global change biology*. 2005. Vol. 11, Iss. 5. P. 732–748. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.00938.x.
479. Supuka J., Feriancova Ľ., Bihunova M. Leaf impact trends of silver birch (*Betula pendula* Roth.) by allochthonous elements at Nitra town urban vegetation. *Thaiszia journal of botany*. 2008. Vol. 18. P. 37–49.
480. Suszka B., Muller C., Bonnet-Masimbert M. Nasiona leśnych drzewliściastych od zbioru do siewu. Warszawa-Poznań : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2000. 307 s.
481. Takuchev N. Morbidity from non-cancer deceases, associated with air pollution by carbon oxide of Stara Zagora, Bulgaria. *Food science, engineering and technologies : international conference* (14–15.10.2011 Plovdiv, Bulgaria). 2011. Vol. LVIII, N. 2. P. 223–226.
482. The effect of air pollution on yield and quality of mung bean grown in peri-urban areas of Varansi / Agrawal M. et al. *Water, air and soil pollution*. 2006. Vol. 169, N. 1. P. 239–254. DOI: 10.1007/s11270-006-2237-6.
483. The effects of short- and long-term air pollutants on plant phenology and leaf characteristics / Jochner S. et al. *Environmental Pollution*. 2015. Vol. 206. P. 382–389. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.07.040.
484. The guard cell as a single-cell model towards understanding drought tolerance and abscisic acid action / Sirichandra C. et al. *Journal of experimental botany*. 2009. Vol. 60, Iss. 5. P. 1439–1463. DOI: 10.1093/jxb/ern340.

485. The reclamation of the North Estonian oil shale mining area / Lõhmus K. et al. *Multifunctional land use : meeting future demands for landscape goods and services*. 2007. P. 387–401. DOI: 10.1007/978-3-540-36763-5_24.
486. Tingey D. T. Bioindicators in air pollution research – applications and constraints. *Biologic markers of air-pollution stress and damage in forests*. Washington : National academy press, 1989. P. 73–80.
487. Tree leaf wettability as passive bio-indicator of urban habitat quality / Kardel F. et al. *Environmental and experimental botany*. 2012. Vol. 75. P. 277–285. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.07.011.
488. Tylkowski T. *Betula pendula* seed storage and sowing pre-treatment: effect on germination and seedling emergence in container cultivation. *Dendrobiology*. 2012. Vol. 67. P. 49–58.
489. Understanding urban vehicular pollution problem vis-a-vis ambient air quality – case study of a megacity (Delhi, India) / Goyal S. K. et al. *Environmental monitoring and assessment*. 2006. Vol. 119, N. 1–3. P. 557–569. DOI: 10.1007/s10661-005-9043-2.
490. Uni D., Kutra I. Airborne dust absorption by semi-arid forests reduces PM pollution in nearby urban environments. *Sci. total environ*. 2017. Vol. 598. P. 984–992. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.162.
491. Urban air pollution in mega cities of the world / Mage D. et al. *Atmospheric environment*. 1996. Vol. 30. P. 681–686.
492. Vakkari P. Technical Guidelines for genetic conservation and use of silver birch (*Betula pendula*). Rome, 2009. 6 p.
493. Válek Z. Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. Praha : SZN, 1977. 203 s.
494. Vertical profiles reveal impact of ozone and temperature on carbon assimilation of *Betula pendula* and *Populus tremula* / Mäenpää M. et al. *Tree Physiology*. 2011. Vol. 31, N. 8. P. 808–818. DOI: 10.1093/treephys/tpr075.

495. Viherd–Aarnio A., Velling P. Seed transfers of silver birch (*Betula pendula*) from the Baltic to Finland: effect on growth and stem quality. *Silva Fennica*. 2008. Vol. 42, N. 5. P. 735–751. DOI: 10.14214/sf.226.
496. Walters S. M. *Betula*. Flora Europea. Cambridge : Cambridge University press, 1964. Vol. I. P. 57–58.
497. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrofotometers of different resolution. *Journal of plant physiology*. 1994. Vol. 144, Iss. 3. P. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.
498. Winkler H. Betulaceae. *Das Pflanzenreich*. 1904. Vol. 19. P. 1–149.
499. Wolters J. H. B., Martens J. M. Effects of air pollutants on pollen. *Botanical review*. 1987. Vol. 53, N. 3. P. 372–414.
500. Wright I. J., Reich P. B., Westoby M. Least-cost input mixtures of water and nitrogen for photosynthesis. *The American naturalist*. 2003. Vol. 161, N. 2. P. 98–111.
501. Zając E., Klatka S., Zarzycki J. Distribution of woody vegetation on soda waste dumps in relation to spatial variation in selected parameters of the mineral cover. *Journal of ecological engineering*. 2016. Vol. 17, Iss. 5. P. 49–56. DOI: 10.12911/22998993/64449.

ДОДАТКИ
ДОДАТОК А

BETULA PENDULA ROTH У НАСАДЖЕННЯХ М. КРИВИЙ РІГ



Рис. А. 1. *Betula pendula* Roth у зоні незначного рівня аеротехногенного забруднення (у КБС НАН України – умовний контроль)



Рис. А. 2. *Betula pendula* Roth у зоні високого рівня аеротехногенного забруднення (біля ПрАТ «ПівнГЗК»)

ДОДАТОК Б

ПОДИНОКЕ ДЕРЕВО *BETULA PENDULA* ROTH НА ПЕТРІВСЬКОМУ
ВІДВАЛІ ПРАТ «ЦГЗК»



Рис. Б. Поодиноке дерево *Betula pendula* Roth (Петрівський відвал)

ДОДАТОК В

ЖИТТЄВІ ФОРМИ *BETULA PENDULA* ROTH НА ЗАЛІЗОРУДНИХ
ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ

Рис. В. 1. Поростеутворююче дерево *Betula pendula* Roth на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»



Рис. В. 2. Небагатостовбурове дерево (із трьома стовбурами) на Петрівському відвалі



Рис. В. 3. Багатостовбурове дерево *Betula pendula* Roth на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»

ДОДАТОК Г

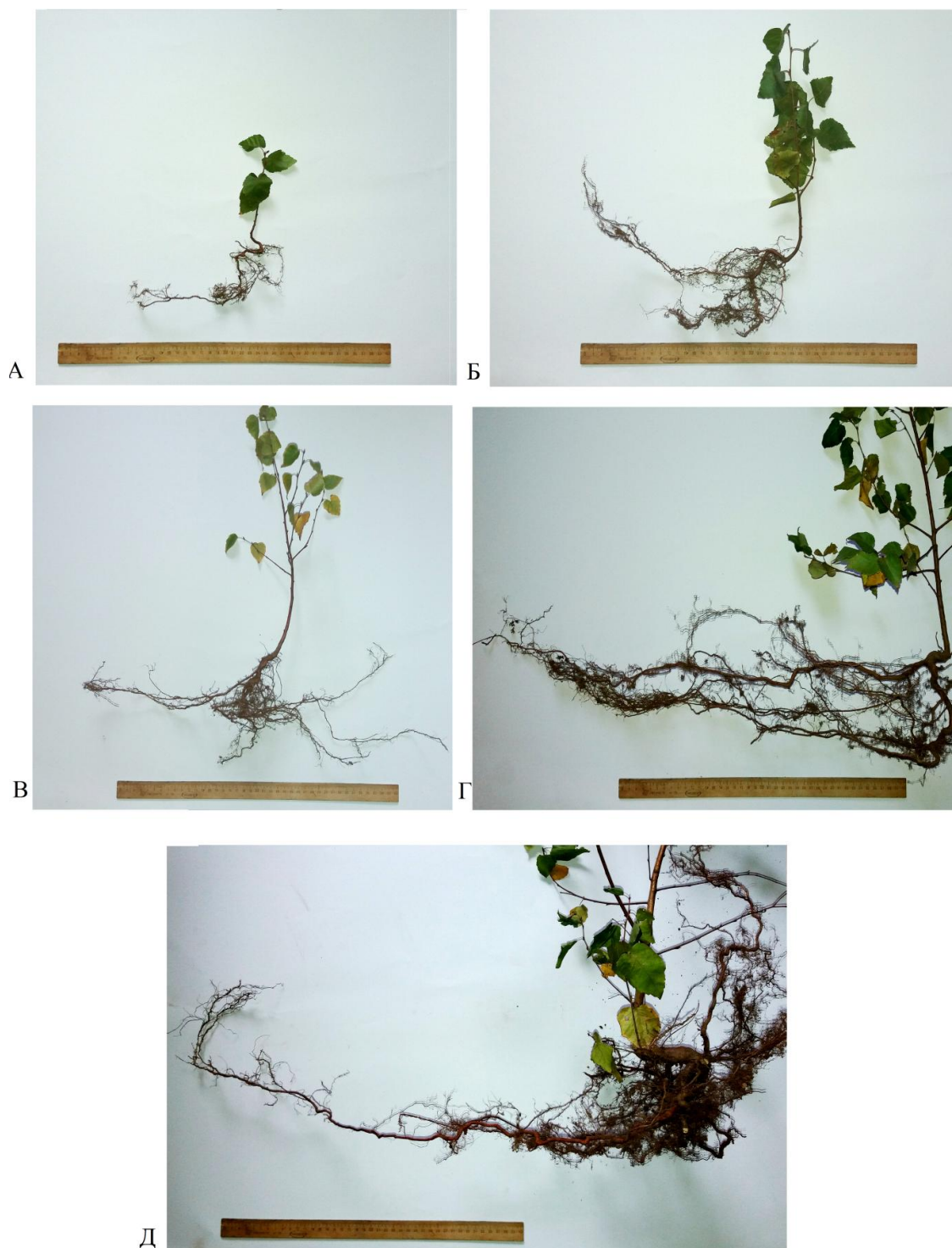
КОРЕНЕВА СИСТЕМА САМОСІВУ *BETULA PENDULA* ROTH НА
ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИИВОРІЖЖЯ

Рис. Г. 1. Динаміка розвитку кореневої системи самосіву *Betula pendula* Roth на відвалі № 7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»: А – 1-річний; Б – 2-річний; В – 3-річний; Г – 4-річний; Д – 5-річний



Рис. Г. 2. Динаміка розвитку кореневої системи самосіву *Betula pendula* Roth на Петрівському відвалі ПрАТ «ЦГЗК»: А – 1-річний; Б – 2-річний; В – 3-річний; Г – 4-річний; Д – 5-річний

ДОДАТОК Д

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Коршиков І. І., Сулова О. П., **Петрушкевич Ю. М.** Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання розділу 4*).

Публікації у наукових зарубіжних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

2. **Петрушкевич Ю. М.** Оцінка екологічного стану Кривого Рогу за допомогою пилку *Betula pendula* Roth. *The scientific heritage*. 2019. Vol. 2, N. 40. P. 12–16. (eLIBRARY.RU, Index Copernicus International, International Scientific Indexing, General Impact Factor, SIS, DIIF, Issuu, SlideShare, Calaméo).

Публікації у наукових фахових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

3. **Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I.** Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* Roth of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11, N. 1. P. 29–36. DOI: 10.15421/022005. (Категорія журналу «А», Web of Science, National Center for Biotechnology Information, DOAJ, UlrichsWeb, CABI - Helminthological Abstracts, CrossRef, EBSCOhost, Google Scholar Metrics, National Library of Ukraine Vernadsky, Vancouver Public Library, Universiteitsbibliotheek Gent, University Library Lugano, BIU Santé, CyberLeninka, BASE - bielefeld Academic Search Engine, Vsenauki.ru, Scilit). (*Особистий внесок: аналіз літературних джерел, збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних*).

4. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Популяційна структура *Betula pendula* (Betulaceae) на залізорудних відвалах Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, Вип. 2. С. 90–103. DOI: 10.15407/ukrbotj77.02.090. (CAB Abstracts, DOAJ, CrossRef, ROAD, Index Copernicus (ICV 2018: 79.24), IPNI, Google Scholar, WorldCat-OCLC, Scientific Periodicals of Ukraine). (Особистий внесок: аналіз літературних джерел, збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних).

5. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Біологія*. 2018. № 1 (72). С. 82–89. (Index Copernicus з ICV 2015: 55.00, Directory of Research Journals Indexing, Journal Factor, Open Academic Journals Index, Scientific Indexing Services, Google Scholar).

Публікації у наукових фахових виданнях України:

6. Коршиков І. І., Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth. в урбосистемі м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2017. № 1. С. 28–35. (Особистий внесок: збір та статистична обробка матеріалу, аналіз даних).

7. Петрушкевич Ю. М., Коршиков І. І. Морфо-фізіологічна характеристика пилку *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 58–66. (Особистий внесок: проведено експериментальну роботу, здійснено статистичну обробку та аналіз даних)

8. Петрушкевич Ю. М. Насіннева продуктивність та посівні якості насіння *Betula pendula* Roth. в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. Д. : ДНУ, 2018. Вип. 47. С. 39–47.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Петрушкевич Ю. Особливості адаптації *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Молодь і поступ біології: збірник тез XII*

міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (19–21 квітня 2016 р., м. Львів). Львів, 2016. С. 99–100.

10. **Петрушкевич Ю. М.** Використання *Betula pendula* в озелененні міст України. *Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки):* матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2016», 23–24 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.). Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2016. С. 128–131.

11. **Петрушкевич Ю. Н.** Самовозобновление берёзы повислой на отвалах Кривого Рога. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України:* матеріали міжнародної наукової конференції (25–27 жовтня 2016 р., м. Дніпропетровськ). Дніпропетровськ : Ліра, 2016. С. 53–54.

12. **Петрушкевич Ю. М.** Вплив промислових умов на морфометричні параметри *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Рослини та урбанізація:* матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (1–2 березня 2017 р., м. Дніпро). Дніпро, 2017. С. 75–77.

13. **Петрушкевич Ю. М.** Морфометричні параметри листкової пластинки *Betula pendula* Roth. в м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології:* матеріали міжнародної конференції молодих учених (5–10 вересня 2017 р., м. Луцьк). Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 106.

14. **Петрушкевич Ю. М.** Особливості зростання *Betula pendula* в промислових умовах міста. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін:* збірка статей міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В. І. Липського ОНУ ім. І. І. Мечникова (19–21 вересня 2017 р., м. Одеса). Одеса : ОНУ, 2017. С. 234–237.

15. **Petrushkevich Y.** *Betula pendula* on the iron ore dumps of the Kryvyi Rih. *Applied Biotechnology in Mining: agenda of the International Conference* (25–27th April, 2018). Dnipro, 2018. P. 34.

16. **Петрушкевич Ю. М.** Використання *Betula pendula* Roth як біоіндикатора стану навколишнього середовища м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених (3–4 вересня, 2018 р., смт. Кирилівка). Кирилівка, 2018. С. 53.

17. Коршиков І. І., **Петрушкевич Ю. М.** Стійкість *Betula pendula* Roth в умовах Кривбасу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи (до 180-річчя створення Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна)*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (22–24 травня, 2019 р., м. Київ). Київ : ТАЛКОМ, 2019. С. 40–41. (*Особистий внесок: проведено експериментальну роботу, аналіз результатів досліджень, оформлення матеріалів для публікації*).

18. **Петрушкевич Ю. М.** Анатомічна будова листків *Betula pendula* Roth в урботехногенних умовах. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених (6–9 вересня 2019 року, м. Харків). Харків, 2019. С. 39.

19. **Петрушкевич Ю. М.** Морфоструктурні зміни *Betula pendula* Roth на залізорудних відвалах Кривбасу. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК*: збірник наукових праць за результатами роботи VI міжнародної науково-технічної конференції (м. Кривий Ріг, 22 листопада 2019 року). Кривий Ріг, 2019. С. 195–196.

ДОДАТОК Е

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС

«ПОГОДЖЕНО»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Донецького ботанічного саду
НАН України
д.б.н., проф.

«*IK*» *IK* 20*20* р.
I. I. Коршиков



Директор з наукової роботи
Криворізького державного
педагогічного університету,
д.п.н., проф.

«*GA*» *GA* 20*21* р.
В. А. Гаманюк



АКТ

впровадження результатів науково-дослідної роботи

Організація: Криворізький державний педагогічний університет

Цим актом підтверджується, що результати виконаної у Донецькому ботанічному саду НАН України дисертаційної роботи Петрушкевич Ю. М. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук «Життєздатність *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя» впроваджені у навчальний процес на кафедрі ботаніки та екології Криворізького державного педагогічного університету.

Вид впроваджених результатів: результати дослідження життєздатності *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя за різного рівня забруднення. Встановлено зниження рівня життєвого стану *B. pendula*, зменшення біометричних параметрів дерев (висоти дерев та діаметра стовбуру, площа проекції та об'єм крони) з підвищенням рівня техногенного навантаження. Визначено зміни показників морфо-анатомічних та фізіологічних параметрів листків, які проявляються в зменшенні довжини і ширини листка до 8-13%; збільшенні флуктуючої асиметрії листків, зменшенні товщини листової пластинки і розмірів продихів у середньому до 29%. Також високий рівень аеротехногенного забруднення призводить до зменшення вмісту хлорофілу *a* і *b*, їх суми та співвідношення до каротиноїдів. Виявлено високу чутливість генеративної сфери *B. pendula* до впливу аерополутантів, що призводить до зменшення морфометричних параметрів пилку, його якості, збільшення загальної кількості аномалій, а в подальшому – до погіршення посівних якостей насіння. Встановлені найбільш інформативні показники для можливості їх використання у біоіндикації. Досліджено популяційну структуру та адаптивні зміни *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя, де вона є піонером природного заростання.

Характеристика масштабу впровадження: одноразове.

Новизна результатів науково-дослідної роботи: якісно нові.

Форма впровадження: Результати досліджень впроваджені у навчальний процес на кафедрі ботаніки та екології при викладанні навчальних дисциплін «Фізіологія рослин», «Рослинність Криворіжжя» спеціальності 014 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), а також «Урбоекологія», «Моніторинг довкілля» спеціальності 101 Екологія.

Завідувач кафедри
ботаніки та екології
к.б. н., старший викладач

Я. В. Маленко

Науковий керівник,
д.б.н., професор

I. I. Коршиков

«ПОГОДЖЕНО»

Директор Донецького ботанічного саду
НАН України,
д.б.н., проф.

«30» _____ 20____ р. Коршиков



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор Львівського національного
університету імені Івана Франка
член-кореспондент НАН України,
доктор хімічних наук, професор
Гладивевський Р.С.



Акт

впровадження результатів науково-дослідної роботи

Організація: Львівський національний університет імені Івана Франка

Цим актом підтверджується, що результати виконаної у Донецькому ботанічному саду НАН України дисертаційної роботи Петрушкевич Ю. М. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук «Життєздатність *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя» впроваджені у Львівському національному університеті імені Івана Франка на кафедрі фізіології та екології рослин.

Вид впроваджених результатів: результати дослідження життєздатності *Betula pendula* Roth в умовах різного рівня забруднення на Криворіжжі. Встановлено зниження рівня життєвого стану *B. pendula*, зменшення висоти дерев та діаметра стовбуру з підвищенням рівня техногенного навантаження. Визначено зміни показників морфо-анатомічних та фізіологічних параметрів листків, які проявляються в зменшенні довжини і ширини листка до 8-13%; збільшенні флуктуючої асиметрії листків, зменшенні товщини листової пластинки і розмірів продохів у середньому до 29%. Також високий рівень аеротехногенного забруднення призводить до зменшення вмісту хлорофілу *a* і *b*, їх суми та співвідношення до каротиноїдів.

Характеристика масштабу впровадження: одноразове.

Новизна результатів науково-дослідної роботи: якісно нові.

Форма впровадження: Результати досліджень впроваджені у навчальний та науковий процес на кафедрі фізіології та екології рослин при викладанні лекцій загального курсу Фізіологія рослин та с/к Механізми адаптації рослин, а також під час виконання магістерських робіт студентами.

В.о.завідувача кафедри
фізіології та екології рослин
к.б.н., доцент

М. С. Кобилецька

Доцент кафедри фізіології
та екології рослин, к.б.н.

В. І. Баранов

Науковий керівник,
д.б.н., професор

І. І. Коршиков