

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

ПЕТРУШКЕВИЧ ЮЛІЯ МИКОЛАЇВНА

УДК 581.522.4 – 01/07+582.632.1(477.63)

**ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ *BETULA PENDULA* РОТН В УМОВАХ
КРИВОРІЖЖЯ**

03.00.16 – екологія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі дендрології та природної флори Донецького ботанічного саду НАН України

Науковий керівник:

доктор біологічних наук, професор
Коршиков Іван Іванович,
Донецький ботанічний сад
НАН України, директор

Офіційні опоненти:

доктор біологічних наук, професор
Лихолат Юрій Васильович,
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара,
кафедра фізіології та інтродукції рослин,
завідувач кафедри, професор

доктор біологічних наук, професор
Коваленко Ігор Миколайович,
Сумський національний аграрний університет,
кафедра екології та ботаніки, професор,
факультет агротехнологій та
природокористування, декан

Захист відбудеться «24» лютого 2021 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.04 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара за адресою: 49010, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 72, корпус 17, біолого-екологічний факультет, ауд. 711.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Казакова, 8.

Автореферат розісланий «21» січня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук, доцент



А. О. Дубина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З активним розвитком урбанізації в ХХ-ХХІ ст. постійно збільшуються викиди токсичних речовин у навколишнє середовище, які забруднюють повітря, ґрунт, воду (Бессонова, 1999; Kasperidus, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003; Robinson, 2005; Agrawal et al., 2006; Grimm et al., 2008). В одному з найбільших промислових міст України – Кривому Розі рівень забруднення атмосферного повітря значно перевищує норму (Екологічний паспорт..., 2017). 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 (Большаков, Тубольцев, Горохова, 2012). Інтенсивний рух автотранспортних засобів у Кривому Розі зумовлює ще більше 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, а в останні 30-40 рр. почала колонізувати техногенно порушені території Криворіжжя, зокрема залізорудні відвали, шляхом природного поселення, де вона є активним піонером (Коршиков, Красноштан, 2012). *B. pendula* характеризується невисокою вимогливістю до екологічних умов середовища, тому завдяки своїм еколого-біологічним особливостям може зростати на різних територіях (Неверова, 2002). Однак є свідчення, що в техногенних умовах вона відзначається недостатньою стійкістю (Поляков, 2012). У багатьох державах *B. pendula* пропонують використовувати у якості біоіндикатора стану урботехногенного середовища (Бессонова, 1994; Калдыбаев, 2003; Лях и др., 2004; Franiel, Blocka 2008), тому набуває актуальності вивчення життєздатності *B. pendula* в умовах різного рівня забруднення. Досить значне поширення *B. pendula* у міських насадженнях Кривого Рогу, а також широкий діапазон різних за походженням забруднювачів середовища, перш за все комбінатів гірничо-металургійного комплексу та автотранспорту, створюють передумови для визначення еколого-біологічних особливостей виживання цього декоративного виду в умовах промислового степового міста. Оскільки *B. 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 впродовж 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 *B. 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, візуальний), таксаційні, морфометричні, анатомічні (мікроскопії, метод відбитків продихів), фізіологічні (спектрофотометричний), популяційної біології (аналіз вікової структури, віталітетний аналіз), лабораторні (цитологічний, йодний, метод пророщування, вимірювально-ваговий), математично-статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів. *Уперше:*

- досліджено життєздатність *B. 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 чисельності *B. pendula* на залізрудних відвалах Криворіжжя;
- з'ясовано морфоструктурні зміни надземної та підземної частин у рослин *B. pendula* на залізрудних відвалах Криворіжжя;
- здійснено ранжування різних показників у *B. 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 *B. pendula* в різних насадженнях м. Кривий Ріг дають можливість диференційовано використовувати цей вид в озелененні великого промислового міста залежно від функціонального призначення його території, а також для моніторингу стану навколишнього середовища. Встановлені біолого-екологічні аспекти формування локальних популяцій *B. pendula* на залізрудних відвалах Криворіжжя можуть бути застосовані на практиці при проведенні їх фіторекультивациі. 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.

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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА *BETULA PENDULA* РОТН У ПРИРОДНИХ ТА УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ СЕРЕДОВИЩА

У розділі, який присвячений аналізу літературних джерел вітчизняних і зарубіжних вчених з проблеми дослідження, наведено біолого-екологічну характеристику *B. pendula* (Бульгин, 1985; Gilman, Watson, 1993; Яковлев, 2001; Ветчинникова, 2004; Clegg et al., 2005; Vihera-Aarnio, 2007; Пархоменко, 2011; Beck et al., 2016), описано особливості зростання цього виду в урботехногенних умовах середовища за дії шкідливих викидів промислових підприємств, вихлопних газів автотранспорту, впливу важких металів та інших забруднюючих речовин (Oksanen, Saleem, 1999; Блюсюк, 2003; Лях и др., 2004; Вострикова, 2009; Piotrowska, Panek, 2012; Ерещенко, Хлебова, 2013; Kolon et al., 2015; Samusik, Golovaty, 2017), а також поселення *B. pendula* на техногенно порушених ландшафтах з різним типом субстратів (Музафарова, 2006; Коршиков, Красноштан, 2012; Andráš, 2007). На основі літературного огляду визначена необхідність дослідження життєздатності *B. pendula* в умовах Криворіжжя, оскільки цей вид є біоіндикатором довкілля та піонером природного заростання техногенно порушених ландшафтів.

РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У розділі описано природно-кліматичні умови Криворіжжя: географічне розташування, рельєф, клімат, водні ресурси, ґрунти, рослинний і тваринний світ, ландшафт. Наведено дані про екологічний стан Кривого Рогу та рівень забруднення по місту у період проведених досліджень. За рахунок великої протяжності міста (126 км), у якому наявні різні джерела забруднення антропогенного характеру, на окремих територіях Кривого Рогу відмічається неоднаковий рівень техногенного навантаження. Тому для комплексного вивчення життєздатності *B. pendula* в урботехногенних умовах Кривого Рогу було відібрано 8 дослідних ділянок з урахуванням їх розташування по довжині міста у трьох адміністративних районах міста: Тернівському, Покровському, Металургійному та рівня аеротехногенного забруднення (рис. 1): незначного – Криворізький ботанічний сад НАН України, сквер «Поляна казок», парк Героїв АТО (дослідні ділянки №1, №2, №3), помірного – біля трьох автомагістральних шляхів (ділянки №4, №5, №6), високого – поблизу гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів (ділянки №7, №8). Дерев з дендрарію КБС НАН України використовували в якості умовного контролю.

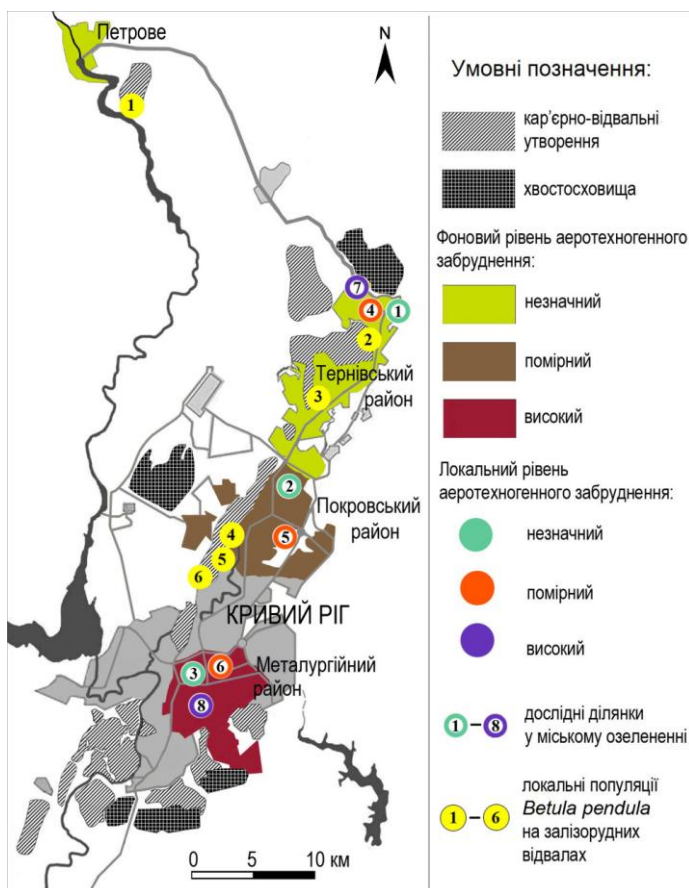


Рис. 1. Картографічна схема розташування дослідних ділянок

щоб усі насадження були однорідними та відносились до однієї вікової групи. На дослідних ділянках було по 30 і більше дерев. Дослідження

Структуру локальних популяцій *B. pendula* досліджували на 4-х залізничних відвалах Криворіжжя: Петрівському ПрАТ «ЦГЗК» (№1), автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівніГЗК» (№2), відвалі №7 Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (№5), на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (№6). Кореневу систему самосіву *B. pendula* вивчали на шести відвалах: 4-х зазначених вище, а також на відвалі шахти Леніна (№3) та на відвалі шахти «Більшовик» (№4).

Відбір та обстеження 8 насаджень здійснювали маршрутним методом.

Місця закладання ділянок відбирались таким чином, ділянок відбирались таким чином,

популяційної структури *B. pendula* проводили в 11 локусах. Життєвий стан оцінювали за шкалою В. А. Алексєєва (1989), біометричні параметри дерев визначали за стандартними таксаційними методиками (Методы..., 2002; Верхунов, Черных, 2009). Вік дерев установлювали за допомогою даних року створення насаджень у місті (Енциклопедія Криворіжжя..., 2005; Федоровский, Мазур, 2007). Заміри морфометричних параметрів листків здійснювали за допомогою вимірювального циркуля та лінійки. Рівень флуктуючої асиметрії визначали за методикою В. М. Захарова зі співавт. (2000). «Зігнутість» верхівки листка встановлювали шляхом підрахунку листків з цією ознакою на кожній ділянці (Методичні вказівки..., 2014). Анатомічну будову листкової пластинки досліджували на тимчасових препаратах за допомогою стандартної методики (Барыкина, 2000), а продиховий апарат – за методикою Г. Х. Молотковського (1935). Товщину листка та величину коефіцієнта палісадності встановлювали за класифікацією Б. Р. Васильєва (1988). Дослідження вмісту пігментів проводили спектрофотометрично з використанням диметилсульфоксиду – ДМСО (Wellburn, 1994). Життєві форми *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя визначали за класифікацією О. О. Чистякової (1988), вікову структуру досліджували відповідно до класифікації Т. О. Работнова (1988) з доповненнями О. О. Уранова (1975). Індекс віковості та індекс ефективності розраховували за формулами О. О. Уранова (1975) та Л. А. Животовського (2001). Тип нормальних популяційних локусів встановлювали за класифікацією «дельта-омега», індекс відновлення визначали за формулою Л. А. Жукової (1995). Віталітетний аналіз проводили згідно методики Ю. А. Злобіна (1989). Кореневу систему самосіву *B. pendula* досліджували за допомогою методу повної розкопки, морфометричні параметри кореневої системи визначали за стандартними методами (Рожков, Кузнецова, Рахматуллоєв, 2008). Для вимірювання морфометричних параметрів чоловічих та жіночих сережок використовували штангенциркуль. Дослідження морфо-фізіологічних параметрів пилку проводили на тимчасових мікропрепаратах. Типи та види аномалій пилкових зерен визначали, використовуючи класифікацію В. Н. Кобзаря (1996) та роботу Л. Карлсдоттір зі співавт. (2008). Якість пилку встановлювали за вмістом крохмалю у пилкових зернах йодним методом, а його життєздатність – методом Д. А. Транковського (Паушева, 1980). Насіннєву продуктивність визначали способом підрахунку кількості насінин та лусок у 50 жіночих сережках з кожного дослідженого насадження. Посівні якості насіння визначали за стандартними методиками (ГОСТ 13056.2-89, ГОСТ 13056.4-67, ГОСТ 13056.8-97, ГОСТ 13056.6-97). Статистичну обробку експериментального матеріалу здійснювали за допомогою стандартних методів варіаційної статистики у MS Excel, достовірність відмінностей визначали за t-критерієм Стюдента (Зайцев, 1984).

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

Характеристика зовнішніх ознак дерев *Betula pendula* залежно від рівня аеротехногенного забруднення. При оцінці рівня життєвого стану *B. pendula* на 8 дослідних ділянках у м. Кривий Ріг найвищі показники цього параметру виявлені у рослин, які зростають у зонах з незначним рівнем забруднення (ділянки №1–3), де кількість «здорових» дерев становила 90,0–96,7%, максимально високі значення спостерігались у контролі (ділянка №1). На ділянках з помірним та високим рівнями забруднення цей показник був у середньому на 24,2% та 60,3% нижче, ніж у ботанічному саду (контроль). З погіршенням умов середовища у насадженнях збільшувалась кількість особин із сухою верхівкою крони від 3,3% – у контролі до 63,3% – на ділянці №8, де рослини зазнають впливу токсичних викидів металургійного комбінату, а також довжина сухої частини крони від 0,5 м – в зонах з незначним рівнем забруднення до 4 м – на ділянках №7–8 (високий рівень забруднення). За показником відносного життєвого стану деревостанів виявлено, що насадження *B. pendula*, які зростають в умовах високого рівня забруднення (ділянки №7–8) – «пошкоджені», тоді як у інших місцях зростання – «здорові» (ділянки №1–6).

З підвищенням загазованості повітря в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг встановлено значні відмінності показників біометричних параметрів на різних дослідних ділянках відносно контролю (табл. 1). Так, на ділянках №2 і №3 висота дерев та діаметр стовбура на рівні 1,3 м були менше у середньому на 4,9% та 7,6%, ніж у дендрарії КБС НАН України (ділянка №1), а на ділянках №4–6 та №7–8 – на 19,6% і 13,0%, а також на 28,8% і 20,8% менше відповідно. Подібна тенденція відмічена й при дослідженні параметрів крони, де різниця між показниками її проєкції та об'єму за дії різного рівня забруднення відносно контролю досягала 57,4% та 75,7%, тобто у 2,3 та 4,1 раза відповідно.

Таблиця 1

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

Рівень аеротехногенного 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.

Додатковий ефект на ріст і розвиток дерев спричиняє щільність посадки. У Покровському районі м. Кривий Ріг було досліджено 16 куртинних насаджень *B. pendula* віком 23–35 р., у яких виявлено різну кількість деревних особин (від 10 до 19 ос.), площу (від 21 до 200 м²) та відстань між рослинами (від 0,5 до 5 м). Висота дерев та діаметр стовбура у різних куртинах відрізнялися та варіювали в межах 9,2–17,3 м та 8,9–27,7 см відповідно. Найменші біометричні параметри встановлені у дерев куртини №1 віком 23 р., а найвищі – у куртині №16, де середній вік рослин складав 35 р. Це свідчить про те, що в умовах м. Кривий Ріг *B. pendula* відзначається активним ростом у період з 23 до 35 років. У дерев, які ростуть зовні куртин, висота рослин та діаметр стовбура були меншими від тих, що знаходяться всередині насадження. Недостатня відстань між деревами призводить до збільшення конкуренції за сонячну енергію, та, як результат, до пригнічення і зниження декоративності рослин в центрі куртин.

Морфо-анатомічні та фізіологічні показники асиміляційного апарату *Betula pendula*. На восьми дослідних ділянках *B. pendula* встановлено варіювання показників морфометричних параметрів листка: 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 підвищенням рівня забруднення (рис. 2). Мінімальні значення за всіма параметрами виявлені у рослин, які зазнають високого рівня забруднення за дії шкідливих викидів металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка №8), що були нижче порівняно з контролем на 14,3%, 8,4% та 12,8% відповідно.

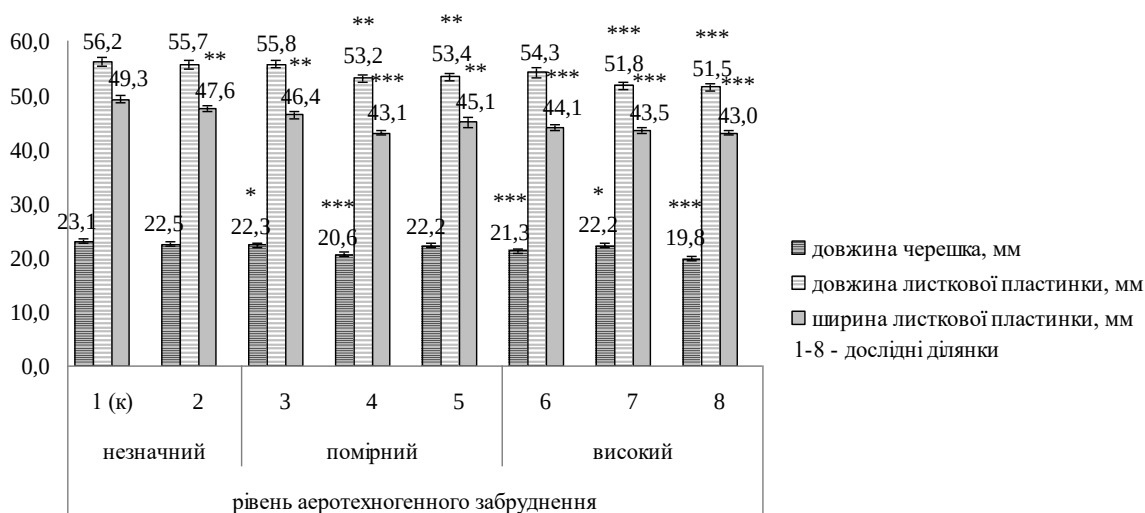


Рис. 2. Морфометричні параметри листка *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

З погіршенням умов середовища у *B. pendula* встановлено збільшення співвідношення довжини до ширини листкової пластинки (Д/Ш) з 1,14 (ділянка №1 – контроль) до 1,30 (ділянка №8). Подовження листкової пластинки відбуваються переважно за рахунок зміни показників її ширини,

оскільки цей параметр є більш лабільним до впливу забруднюючих речовин, ніж її довжина.

Аналіз рівня флюктуючої асиметрії листової пластинки *B. pendula* у різних місцях зростання дерев показав суттєве підвищення цього параметру з погіршенням стану навколишнього середовища (рис. 3). Найменші показники ступеня порушення симетрії між лівою та правою половинами листка зафіксовані у рослин, що зростають у зонах із незначним рівнем забруднення та не перевищували 0,024. На дослідних ділянках №4–6, що зазнають негативного впливу вихлопних газів автотранспорту (помірний рівень забруднення), цей показник підвищився в середньому у 4 рази, а на ділянках №7 і №8 (високий рівень забруднення) – у 5,4 раза порівняно з контролем.

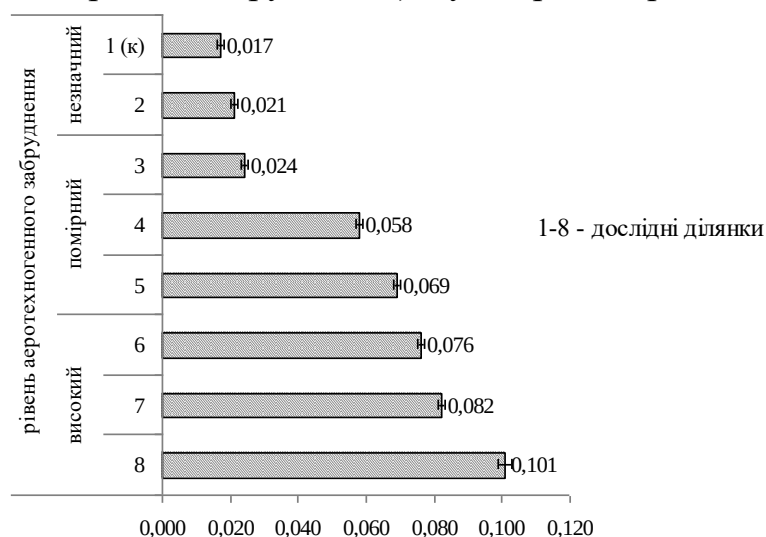


Рис. 3. Рівень флюктуючої асиметрії листових пластинок *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

З підвищенням рівня забруднення у *B. pendula* збільшувалася кількість листків із зігнутою верхівкою: найменше їх було зафіксовано в контролі – 5 шт., на дослідних ділянках № 4–6 їх було в 4,3 раза більше, а на ділянках №7 і №8 – у 7,3 раза, ніж у дендрарії КБС НАН України. Показники цього параметру підтвердили значення флюктуючої асиметрії, що відображає інтенсивність впливу аеротехногенного забруднення на *B. pendula*.

Дослідження анатомічної будови листової пластинки *B. pendula* у м. Кривий Ріг показали поступове потовщення листка *B. pendula* та його тканин із погіршенням умов середовища залежно від місцезростання рослин (табл. 2). Найтонша листовка пластинка *B. pendula* виявлена на ділянці №1, що є контрольною – 169,1 мкм. Найвищі показники цього параметру спостерігалися у зонах з високим рівнем забруднення (ділянки №7 і №8) та переважали контрольні у середньому на 20,6%, тоді як у дерев, що зростають у зонах з помірним рівнем забруднення на ділянках №4–6, були вище, ніж у ботанічному саду (ділянка №1) на 11,5%. Потовщення листової пластинки у рослин відбувається за рахунок збільшення товщини її тканин: верхнього і нижнього епідермісу – до 35% і 47,9% (ділянка №7), а також палісадної та губчастої паренхіми – до 31,6% і 8,9% (ділянка №8) відповідно. У зонах з

помірним рівнем забруднення товщина покривних тканин була в середньому на 20,5% (верхній епідерміс) і 26,9% (нижній), а палісадна і губчаста паренхіми – на 10,4% і 5,9% вище відповідно, ніж у контролі. Коефіцієнт палісадності збільшувався від 50,9% на ділянці №1 до 55,4% на ділянці №8. Потовщення мезофілу відбувається переважно за рахунок палісадної паренхіми, що пов'язано зі збільшенням об'єму клітин, у яких містяться хлоропласти, що надають можливості вільного переміщуватися у цитоплазмі клітин (Егорова, Кулагин, 2008).

Таблиця 2

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

Рівень аеротехно-генного 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 Стюдента при $P = 95\%$ – *, $P = 99\%$ – ** та $P = 99,9\%$ – ***.

У міру збільшення кількості викидів у повітрі в листках *B. pendula* зменшувалися морфометричні параметри продихів (табл. 3). Так, найбільша довжина, ширина та площа продихів, а також довжина їхньої щілини у *B. pendula* виявлена у контролі – 32 мкм, 19,7 мкм, 501,8 мкм² та 21,1 мкм відповідно. На інших дослідних ділянках значення суттєво відрізнялися на достовірному рівні за *t*-критерієм Стюдента, навіть у зонах незначного рівня забруднення на ділянках №2 і №3, розміри яких були меншими в середньому на 11,4%, 5,3%, 16,9%, 11,8% відповідно. На останніх п'яти ділянках (№4–8) показники цих параметрів зменшувалися на 13,4–29,4%, 10,2–25,9%, 22,5–48,15, 15,2–28,0% відповідно, залежно від місця зростання рослин.

З підвищенням рівня техногенного пресу у *B. pendula* поступово збільшувалася кількість продихів на 1 мм² з 92,9–103,6 шт./мм² (у дерев, що

ростуть у зонах з незначним рівнем забруднення) до 136,8 мм² (у зонах високого рівня забруднення), що у 1,5 раза вище порівняно з контролем. Такі зміни у продиховому апараті є адаптивними в урботехногенних умовах середовища, завдяки чому зберігається нормальне функціонування газообміну та транспірації листків.

Таблиця 3

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

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Довжина продоху, мкм	Ширина продоху, мкм	Довжина щілини, мкм	Площа продоху, 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 Стюдента при $P = 95\% - *$, $P = 99\% - **$ та $P = 99,9\% - ***$.

Вихлопні гази автотранспорту та токсичні викиди комбінатів спричиняють зміни кількісного складу пігментів у листках *B. pendula* і призводять до зменшення вмісту хлорофілів *a* і *b* та їх суми до 9,8–15,8%, 20,3–24,0% та 13,3–17,0% й підвищення вмісту каротиноїдів до 14,5–29,8% порівняно з контролем упродовж усього вегетаційного сезону. Найінтенсивніше зміни у фотосинтетичному апараті рослин відбувались на ділянках, які знаходяться у Металургійному районі, що розташований у південній частині міста, де рівень сонячної інсоляції вище, ніж у інших місцях зростання рослин. Співвідношення хл. *a*/хл. *b* у листках *B. pendula* у різні місяці підвищувалося до 12,5–20,0% відносно контролю, що є захисним механізмом до несприятливих умов середовища за рахунок перебудови ультраструктури хлоропластів у бік «світлового» типу, а співвідношення (хл. *a*+хл. *b*)/каротиноїди, навпаки, зменшувалося до 24,4–28,9%, що підтверджує захисну роль каротиноїдів.

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

На залізорудних відвалах Криворіжжя *B. pendula* з'явилася в останні 30-40 рр. шляхом заносу насіння з прилеглих територій, де є активним піонером. На техногенно порушених ландшафтах *B. pendula* самовідновлюється насіннєвим способом, утворює щільний самосів, формуючи окремі локуси, які є функціональними елементами популяції

(Заугольнова, 1974). В 11 досліджених локусах, розташованих на чотирьох відвалах Криворіжжя, площею від 0,08 до 2,73 га виявлено від 91 до 1507 особин, щільність розташування яких варіювала від 1,2 до 51,9 особин на 100 м^2 . Кількість рослин репродуктивного віку змінювалась від 36 до 166 шт. Середній діаметр стовбура у дерев 11 локусів становив 9,1–14,8 см, їх висота – 4,5–8,6 м, а площа та об'єм крони 5,5–13,9 м^2 і 17,4–56,7 м^3 відповідно. В усіх локусах у дерев характерний високий рівень життєвого стану – 86,5–100%, що за шкалою В. А. Алексєєва (1989) є здоровими деревами. У окремих поодиноких особин збільшується протяжність крони за рахунок скелетних коренів, які починають рости відразу над кореневою шийкою.

На залізорудних відвалах Криворіжжя переважають одноствбурні особини *B. pendula*, однак нерідко зустрічаються рослини з іншими життєвими формами. Так, за класифікацією О. О. Чистякової (1988) виявлено поростеутворюючі (8 шт.), небагато- (з 2–3-ма стовбурами) (31 шт.) та багатостовбурні особини *B. pendula* (більше 3-х стовбурів) (27 шт.). Подібні видозміни морфоструктури *B. pendula* відбуваються завдяки пластичності дерев та є проявом поліваріантності індивідуального розвитку.

Віковий розподіл рослин у різних локусах показав, що у 10 з них переважають особини прегенеративного періоду (П1–П10), тому за класифікацією Т. О. Работнова (1988) вони є інвазійними, і лише 1 – нормальний, де кількість рослин репродуктивного віку є найбільшою (П11) (табл. 4).

За віталітетною структурою встановлено, що 8 популяційних локусів *B. pendula* (П1–П8) мають процвітаючий віталітетний тип, останні три локуси (П9–П11) є депресивними (табл. 5). З усіх 11 локусів у П1 встановлено найвищий ступінь процвітання ($I_q=5,75$), 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.

Дослідження підземної частини у самосіву *B. pendula* показали, що у рослин формується поверхнева коренева система, яка займає верхні шари субстрату (0–30 см) (рис. 4). Залежно від місця зростання та типу субстрату у самосіву *B. pendula* формуються і розвиваються корені різної довжини (від 1,0 см до 85,4 см) та діаметра, які розподіляються на 6 фракцій: менше 1 мм, 1-2 мм, 2-5 мм, 5-10 мм, 10-50 мм та більше 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 у 1-річного самосіву – 5 фракцій, а у 2-5-річного – всі 6. Мінімальні показники довжини кореня серед різних фракцій найчастіше зустрічалися у різновікового самосіву *B. 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».

Таблиця 4

Вікова структура *Betula pendula* Roth у популяційних локусах на залізорудних відвалах Криворіжжя

Відвал	Популяційні локуси	Віковий спектр <i>Betula pendula</i> (у %) у популяційних локусах						Δ	ω	Δ/ω	Jв
		pl^*	j	im	v	g_1	g_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.

Таблиця 5

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

Відвал	Популяційні локуси	Клас віталітету			Q	Iq	IVC	Віталітетний тип
		c	b	a				
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 ПрАТ «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 ПрАТ «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: c – низький клас віталітету, b – середній, a – високий; Q – показник якості, Iq – ступінь процвітання, IVC – індекс віталітету.

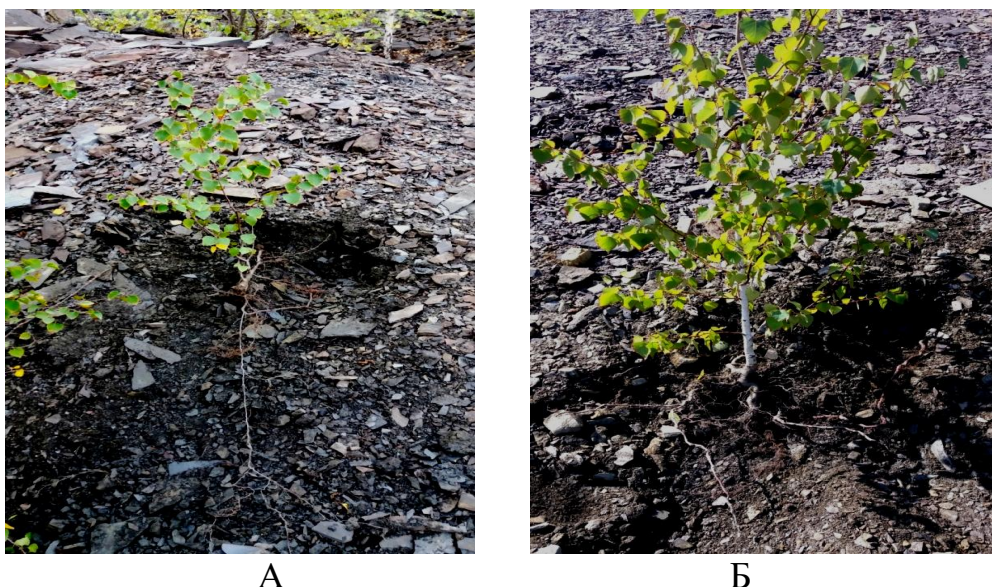


Рис. 4. Коренева система самосіву *Betula pendula* Roth: А – на відвалі «Петрівський-2» Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК»; Б – на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»

На шести залізорудних відвалах Криворіжжя у 1-5-річного самосіву різниця між показниками спостерігалася й за параметрами всієї кореневої системи. Визначено, що здебільшого при меншій довжині коренів і площі поверхні кореневої системи, інші параметри (довжина кореневої системи, її маса й об'єм) збільшувались. Відмінності між показниками біометричних параметрів кореневої системи *B. pendula* на різних відвалах свідчать про те, що у специфічних умовах на ріст і розвиток самосіву досліджуваного виду впливає комплекс факторів: місцезростання самосіву, гранулометричний склад субстрату, освітлення, вологість, наявність-відсутність ґрунтового та рослинного покриву, висота та кут нахилу схилу тощо. Подібні морфоструктурні зміни кореневої системи у самосіву *B. pendula* забезпечують успішне поселення та активний ріст і розвиток цього виду на техногенно порушених ландшафтах Криворіжжя, що мають різні едафічні умови.

РЕПРОДУКТИВНА ЗДАТНІСТЬ *BETULA PENDULA* ROTH В УРБОТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Негативний вплив вихлопів автотранспорту та шкідливих викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу відображається на стані чоловічої генеративної сфери *B. pendula*. У тичинкових сережках довжиною 63–68 мм та шириною 5,1–5,8 мм з підвищенням рівня аеротехногенного забруднення зменшувалися розміри пилку *B. pendula*: найбільше у рослин ділянки №8 – довжина полярної осі та екваторіального діаметра були меншими на 8,9% та 7,8% відповідно, ніж у дерев ботанічного саду.

На всіх дослідних ділянках виявлено морфологічно змінений пилок. Усього було виділено 12 видів аномалій, які були розподілені на 5 типів за певною ознакою: 1) за розмірами: «карлик», «гігант» (рис. 5 (2,3)); 2) за

кількістю апертур: 2-, 4- 5- і багатоапертурні пилкові зерна (рис. 5 (4-7)); 3) за симетрією: асиметричний пилкок, пилкове зерно з асиметричними апертурами (рис. 5 (8, 9)); 4) за архітектурою оболонки: з порушенням екзини та зморщений пилкок (рис. 5 (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 (12, 13)).

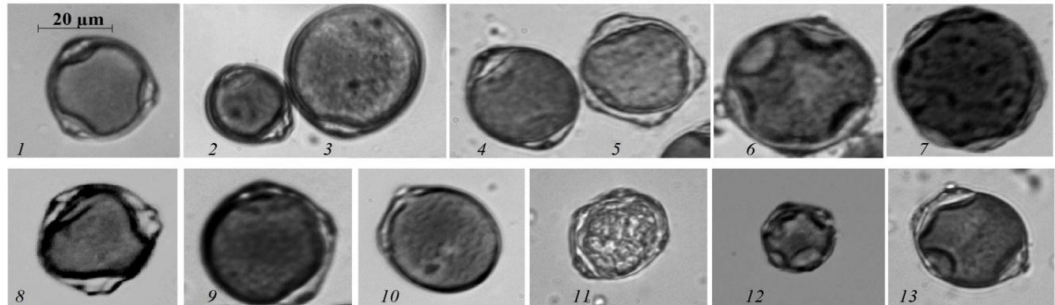


Рис. 5. Аномалії пилку *Betula pendula* Roth: 1 – нормально розвинене пилкове зерно; 2–13 – морфологічно змінені пилкові зерна

Серед цих аномалій найбільший відсоток становив пилкок з 4-ма апертурами (1,2–3,1%). Відрізнялася й загальна кількість аномального пилку дерев на дослідних ділянках: найменший відсоток морфологічно зміненого пилку виявлено у контролі, який складав 3,5%; у зонах з незначним рівнем забруднення цей показник збільшився у 1,2 раза, на ділянках № 4–6 та № 7 і №8, що зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та комбінатів – у 1,9 і 2,9 раза. Максимальна частка аномальних пилкових зерен при цьому виявлена на ділянці №8, що була у 3,2 раза більше, ніж у ботанічному саду (ділянка №1).

З підвищенням рівня техногенного впливу на рослини у *B. pendula* спостерігалось погіршення якості пилку: зниження його фертильності до 33,8%, життєздатності – до 70,9% та скорочення довжини пилкової трубки до 26,6% відносно контролю (табл. 6). Найменші показники за всіма параметрами встановлені у дерев на ділянці №8 у зоні високого рівня забруднення, що зазнають впливу токсичних викидів металургійного комбінату. Одними із найінформативніших показників є коефіцієнт стерильності, який підвищувався максимально до 4,6 разів, та коефіцієнт чутливості, що зменшувався до 6,9 разів з погіршенням умов середовища.

Насіння *B. pendula* формується у маточкових сережках, розміри яких варіюють у різних місцях зростання. У рослин в умовах м. Кривий Ріг довжина черешка маточкової сережки змінювалася від 13,9 мм (ділянка №1) до 11,3 мм (ділянка №8). Суттєві відмінності порівняно з контролем відмічались за даною ознакою лише на дослідних ділянках №3, №6 і №8, які знаходяться на півдні міста, що на 14,4–18,8% менше, ніж у дендрарії КБС. З підвищенням рівня аеротехногенного забруднення у *B. pendula* зменшувалася довжина й ширина маточкових сережок: різниця між показниками у контролі та деревами, що ростуть у зонах з помірним та високим рівнями забруднення, досягала в середньому 8,9% та 22,2%, а також

9,9% та 25,4% відповідно. Ширина сережки – найчутливіший показник порівняно з іншими параметрами, оскільки відмінності достовірні були на шести дослідних ділянках (№3–8) відносно контролю на рівні 99,9%. Виявлено, що надмірно велика концентрація токсичних викидів у повітрі в комплексі з іншими екологічними факторами (висока сонячна інсоляція та температура повітря, низький рівень атмосферних опадів) призводять не тільки до зменшення морфометричних параметрів сережок, а й до їх деформування (викривлення тощо) (рис. 6).

Таблиця 6

Якість пилку та довжина пилкових трубок *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Рівень аеротехногенного забруднення	Дослідні ділянки	Кількість фертильного пилку, %	Кількість пророслого пилку, %	Довжина пилкових трубок, мкм
Незначний	1 (к)	91,4±0,66	49,1±0,60	45,9±1,51
	2	91,2±0,68*	44,9±0,67***	42,1±1,16
	3	91,1±0,68*	43,3±0,67***	41,8±1,34*
Помірний	4	86,8±0,73***	32,7±0,31***	39,1±1,19***
	5	83,6±0,57***	34,9±0,40***	39,0±0,80***
	6	81,0±0,78***	30,1±0,98***	37,2±0,95***
Високий	7	74,2±0,69***	27,0±0,63***	35,2±0,87***
	8	60,5±0,72***	14,3±0,20***	33,7±0,76***

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



Рис. 6. Загальний вигляд маточкових сережок: А – у контролі; Б – на дослідній ділянці №8 у зоні високого рівня забруднення

У різних місцях зростання *B. pendula* середня кількість насінин у маточкових сережках варіювала від 352,5 шт. до 641,4 шт. Майже на всіх дослідних ділянках цей показник збільшувався до 43,5% порівняно з контролем (446,9 шт.) за винятком рослин, що знаходяться на ділянці №8, де їх було менше на 21,1%, ніж у КБС НАН України (ділянка №1). Подібна тенденція виявлена й при дослідженні плодових лусок у маточкових сережках, середня кількість яких змінювалась від 175,9 шт. до 232,2 шт. та поступово підвищувалась з погіршенням якості повітря.

Доведено, що за дії вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу у *B. pendula* погіршуються посівні якості насіння (табл. 7). Так, дослідження показали, що у *B. pendula* відсоток чистого насіння знижувався відносно контролю на 0,3–2,7%, маса 1000 насінин – на 7,6–20,3%, доброякісність і лабораторна схожість – на 15,4–60% та 16,9–94,4% залежно від місця зростання.

Таблиця 7

Посівні якості насіння *Betula pendula* Roth в умовах м. Кривий Ріг

Рівень аеротехно-генного забруднення	Дослідні ділянки	Чистота насіння, %	Маса 1000 насінин, г	Доброякісність, %	Лабораторна схожість, %
Незначний	1 (к)	99,6	0,158	65,0±2,55	17,7±1,08
	2	99,5	0,150	62,7±3,63	15,3±1,08
	3	99,6	0,158	53,3±4,49*	12,0±0,71***
Помірний	4	99,3	0,146	55,0±3,74*	14,7±0,41***
	5	98,9	0,137	44,0±3,08***	9,7±2,27***
	6	98,8	0,144	38,3±3,49***	4,7±0,82***
Високий	7	98,5	0,130	34,7±1,63***	2,0±0,71***
	8	96,9	0,126	26,0±1,41***	1,0±0,71***

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

Визначено, що найбільший негативний вплив забруднюючих речовин відчують рослини, що зростають на дослідній ділянці №8, у яких відмічено найменші показники за всіма параметрами. Найчутливішим показником є лабораторна схожість, де кількість пророслого насіння зменшувалася в середньому у 11,8 раза у зоні з високим рівнем забруднення.

ВИКОРИСТАННЯ *BETULA PENDULA* ROTH У БІОІНДИКАЦІЇ

Порівняльні результати досліджень реакцій *B. pendula* на забруднення міського середовища свідчать, що найбільший негативний вплив чинять викиди металургійного і гірничо-збагачувального комбінатів і меншою мірою – вихлопні газы автотранспорту. За чутливістю показників на забрудненість середовища, які реально доступні для моніторингу забруднення міського середовища, їх можна ранжувати в наступному порядку: великі відмінності порівняно з контролем (у 1,5 і більше разів) – 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 палісадної 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.

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 (довжина черешка, довжина та ширина листка до 14,3%, 8,4%, 12,8% відповідно); збільшується рівень флуктуючої асиметрії максимально у 5,9 раза, кількість листків із зігнутою верхівкою – у 7,6 раза; потовщується листкова пластинка до 23% та її окремі тканини максимум на 8,9–47,9%; зменшується розмір продихів (довжина, ширина, площа продихів та їх щілина в середньому до 24,2%, 20,6%, 40,0%, 25,4% відповідно), а також підвищується щільність продихів на 1мм^2 до 42,6% порівняно з контролем. В умовах м. Кривий Ріг 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 до 20,0%. Відмічено, що на ділянках з

високим рівнем сонячної інсоляції кількість зелених пігментів зменшується більш інтенсивно.

3. *B. pendula* є активним піонером на залізорудних відвалах Криворіжжя, яка здатна до насіннєвого самовідновлення та формування локальних популяцій. За віковою структурою *B. 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 *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя формує поверхневу кореневу систему, яка займає верхні шари субстрату (0–30 см). З підвищенням щільності субстрату у *B. 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 *B. 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 листа, 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 ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Монографія:

1. Коршиков І. І., Суслowa 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. DOI: 10.15421/022005. (Категорія журналу «А», **Web of Science Core Collection, Directory of Open Access Journals (DOAJ), CAB Abstracts, Ulrich's Periodicals Directory, Universiteitsbibliotheek Gent, University Library Lugano, Worldcat, CEEOL, CyberLeninka, BASE - Bielefeld Academic Search Engine, ROAD**). (*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 рекультивації 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 І-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 листової 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.

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, 2020.

Проведено комплексне дослідження життєздатності *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя під впливом вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу, а також встановлення особливостей поселення *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя та формування на них локальних популяцій. Установлено погіршення життєвого стану *B. pendula*, зменшення біометричних параметрів дерев з підвищенням рівня техногенного навантаження. Виявлено зміну показників морфо-анатомічних та фізіологічних параметрів листка в умовах Кривого Рогу, що відображають рівень забруднення в різних місцях зростання. Відмічено, що на залізорудних відвалах Криворіжжя *B. pendula* поселяється шляхом природного заростання та розмножується насіннєвим способом, формуючи локальні популяції. Зафіксовано, що на техногенно порушених ландшафтах у *B. pendula* спостерігається зміна життєвої форми: з'являються поростеутворюючі,

небагато- та багатостовбурові особини. На чотирьох залізорудних відвалах Криворіжжя за віковою структурою виявлено 10 молодих популяційних локусів і 1 зрілий, 8 з яких належать до процвітаючого типу і 3 є депресивними. Досліджено, що *B. pendula* в умовах відвалів формує поверхневу кореневу систему (0–30 см). Установлено високу чутливість генеративної сфери *B. pendula* до впливу забруднюючих речовин техногенного походження, що призводить до зменшення морфометричних параметрів пилку, його якості, збільшення спектру аномалій та їх загальної кількості, а в подальшому – до погіршення посівних якостей насіння.

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

АННОТАЦИЯ

Петрушкевич Ю. Н. Жизнеспособность *Betula pendula* Roth в условиях Криворожья. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.16 «Экология» – Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара МОП Украины, Днепр, 2020.

Проведено комплексное исследование жизнеспособности *Betula pendula* Roth в условиях Криворожья под влиянием выхлопных газов автотранспорта и вредных выбросов с промышленных предприятий горно-металлургического комплекса, а также установление особенностей поселения *B. pendula* на железорудных отвалах Криворожья и формирование на них локальных популяций. Установлено ухудшение жизненного состояния *B. pendula*, уменьшение биометрических параметров деревьев с повышением уровня техногенной нагрузки. Выявлено изменение показателей морфо-анатомических и физиологических параметров листа в условиях Кривого Рога, отражающие уровень загрязнения в разных местах произрастания. Отмечено, что на железорудных отвалах Криворожья *B. pendula* поселяется за счёт природного зарастания, где размножается семенным путём, формируя локальные популяции. Зафиксировано, что на техногенно нарушенных ландшафтах у *B. pendula* наблюдается изменение жизненной формы: появляются порослеобразующие, немногочисленные и многоствольные особи. На четырех железорудных отвалах Криворожья по возрастной структуре выявлено 10 молодых популяционных локусов и 1 зрелый, 8 из которых относятся к процветающему типу, а 3 остальные – депрессивные. Доказано, что *B. pendula* в условиях отвалов формирует поверхностную корневую систему, (0–30 см). Установлена высокая чувствительность генеративной сферы *B. pendula* к воздействию загрязняющих веществ техногенного происхождения, что приводит к уменьшению морфометрических параметров

пыльцы, её качества, увеличение спектра аномалий и их общего количества, а в дальнейшем и к ухудшению посевных качеств семян.

Ключевые слова: Криворожье, загрязнение, жизнеспособность, *Betula pendula* Roth, жизненное состояние, листок, флуктуирующая асимметрия, устьица, пигменты, популяционный локус, самосев, корень, пыльца, аномалии, семена.

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 Dnipro National University of Ukraine, Dnipro, 2020.

The comprehensive study was first conducted 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 and the peculiarities of the settlement of *B. pendula* on the Kryvyi Rih area iron ore dumps and the formation of local populations thereon. It is established deterioration of the life status of *B. pendula*, decrease of biometric parameters of trees with increasing level of technogenic pollution. A change in the indices of the morpho-anatomical and physiological parameters of the leaf was revealed under the conditions of Kryvyi Rih, which reflect the level of pollution in different places of growth: a decrease in the length of the petiole - to 14.3%, the length of the leaf blade and its width – to 8.4% and 12.8%, respectively, an increase in the level of fluctuating asymmetry and the number of leaves with a curved top of the leaf is maximum 5.9 and 7.6 times, respectively. It is noted that, the thickness of *B. pendula* leaf increases up to 23,0% and its individual tissues under contamination conditions: 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. The high sensitivity of the *B. pendula* pigment complex to environmental pollution was determined, due to which the content of chlorophylls *a* and *b* in the leaves decreased - to 15.2% and 24.0%, respectively, the content of carotenoids increased to 21.4% with an increase in the level of technogenic impact. *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. 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 of them 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. 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.

Підписано до друку 18.01.2021. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк RISO. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 1,4. Тираж 100 прим.

Надруковано у КП «Покровська друкарня» КМР
50014, вул. Електрична, 2А.
тел. 096-062-30-81