

МОРФО-ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЛКУ *BETULA PENDULA* ROTH В УМОВАХ КРИВОРІЖЖЯ

Мета — проаналізувати якість і життєздатність пилку *Betula pendula* Roth, його морфометричні характеристики під впливом викидів металургійних комбінатів, вихлопних газів автотранспорту та урбанотехногенного середовища м. Кривий Ріг.

Матеріал та методи. Об'єкт дослідження — свіжозібраний пилок *B. pendula* з восьми насаджень з різним кількісним та якісним впливом аерополітантів у м. Кривий Ріг. Мікропрепарати пилку готували за стандартною методикою, вивчали за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (Німеччина). Фертильність пилку визначали йодним методом, а життєздатність — за допомогою його пророщування в лабораторних умовах. Вимірювання здійснювали з використанням програми AxioVision 4.8.2.0. (06-2010).

Результати. Виявлено негативний вплив на чоловічий гаметофіт *B. pendula* емісії промислових підприємств, вихлопних газів автотранспорту і фонового рівня забруднення у місті. За гострої дії викидів металургійних комбінатів порівняно з рослинами дендрарію Ботанічного саду встановлено зменшення довжини полярної осі на 6,6 % (30,3 та 27,6 мкм), екваторіального діаметра — на 7,8 % (30,7 і 28,3 мкм), довжини пилкової трубки в 1,4 разу (45,9 та 33,7 мкм), частки фертильного пилку — в 1,5 разу (91,4 та 60,5 %), життєздатного пилку — в 3,4 разу (49,1 і 14,3 %), збільшення частоти аномалій у 3,2 разу (3,5 і 11,1 %). Меншою мірою впливають на пилок вихлопні гази автотранспорту та урбанотехногенне середовище міста в цілому.

Висновок. Чоловічий гаметофіт *B. pendula* чутливий до впливу забруднювачів атмосферного повітря, тому показники фертильності та життєздатності пилку, а також рівень його аномальності можна використовувати для оцінки ступеня впливу аерополітантів і рівня забруднення в промислових містах степової зони України.

Ключові слова: насадження *Betula pendula*, пилок, розміри, аномалії, фертильність, життєздатність, пилкова трубка, Кривий Ріг.

Пилок рослин, як батьківський гаметофіт, має важливе значення для відтворення нових поколінь, бо від його якості та життєздатності залежать ефективність запилення і нормальний перебіг процесів запліднення насінневих бруньок [4, 11]. Погіршення умов зростання рослин, особливо пов'язане з техногенним забрудненням середовища, може призвести до зниження життєздатності та фертильності пилку, спричинити зміни морфологічних параметрів пилкових зерен, появу патології [6, 18], зменшення здатності до проростання і можливості утворювати нормальні пилкові трубки [13], тому деревні рослини, чоловіча генеративна сфера яких чутливо реагує на вплив аерополітантів, пропонують застосо-

увати як індикатори забрудненого середовища у великих промислових регіонах, зокрема у Криворіжжі [5, 13].

У дослідженнях впливу аерополітантів як об'єкт використовують анемофільні види рослин, оскільки вони утворюють велику кількість пилку, а їх чоловіча генеративна сфера чутлива до стресових умов середовища. До таких видів належить *Betula pendula* Roth, у якої відзначено суттєве зниження якості пилку в умовах міського середовища [2]. Цей широкоареальний вид має високий темп росту [24]. Його часто застосовують в озелененні міст України [20], зокрема в степовій зоні. У 1970—1980-х рр. *B. pendula* почали висаджувати на різних за призначенням територіях великого промислового міста — Кривого Рогу. Нині цей вид є однією з найпоширеніших деревних порід у місті.

Оскільки загальний об'єм викидів забруднювачів повітря у м. Кривий Ріг становив понад 1 млн тонн у 1990-х рр., а нині — понад 500 тис. тонн [17], *B. pendula* може бути об'єктом для комплексного вивчення впливу урботехногенного середовища на чоловічий гаметофіт та з'ясування потенційної можливості використання цього виду як біоіндикатора.

Мета — проаналізувати якість і життєздатність пилку *Betula pendula*, його морфометричні характеристики під впливом викидів металургійних комбінатів, вихлопних газів автотранспорту та урботехногенного середовища м. Кривий Ріг.

Матеріал та методи

Збір пилку *B. pendula* у 8 насадженнях м. Кривий Ріг здійснювали з 10 дерев у період масового цвітіння (на початку квітня 2017 р.), які було відібрано залежно від рівня техногенного навантаження по всій довжині міста (126 км). Насадження № 1, 2 та 3 розташовані у відносно чистих умовах — відповідно Криворізький ботанічний сад НАН України (КБС), сквер «Поляна казок», парк Героїв АТО; № 4—6 — біля автомагістралей з високим рівнем автотранспортного навантаження: по вул. Черкасова, вул. Електрозаводська, біля проспекту Металургів; № 8 і 9 — в зонах з максимальним рівнем забруднення в місті — біля ПРАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПівнГЗК) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (АрМіт) відповідно. За даними Головного управління статистики у Дніпропетровській області, на частку викидів забруднюючих речовин АрМіт припадало 82 % від їх загального об'єму по місту [7]. Як контроль використовували насадження *B. pendula* в дендрарії КБС.

Мікропрепарати пилку *B. pendula* (по 1000 шт. з насадження) готували за стандартною методикою [21]. Вимірювали два параметри: 1) полярна вісь — пряма лінія між дистальним і проксимальним полюсами; 2) екваторіальний діаметр — пряма лінія в екваторіальній частині пилкового зерна, перпендикулярна полярній осі. Типи аномалій пилку визначали за класифікацією В.Н. Кобзаря (1996) [19] та з

використанням статті L. Karlsdóttir зі співавт. (2008), в якій описано більшість аномалій для видів роду *Betula* [25].

Фертильність пилкових зерен досліджували за допомогою йодного методу. Для цього аналізували по 1000 шт. з насадження. Життєздатність пилку вивчали, пророщуючи його в 20 % розчині сахарози за температури 25 °С. Наступного дня визначали частку пророслого пилку (аналізували по 1000 шт. з насадження) та вимірювали довжину пилкових трубок (по 100 шт. з кожного насадження). В цих дослідженнях використовували мікроскоп Carl Zeiss Primo Star (Німеччина) при збільшенні 400. Для фотографування застосовували цифрову камеру Canon PowerShot A620. Вимірювання розмірів пилкових зерен та довжини пилкових трубок здійснювали на цифрових знімках у програмі AxioVision 4.8.2.0. (06-2010).

Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного пакета MS Excel 2007. Статистичну значущість різниці показників визначали за t-критерієм Стьюдента [9].

Результати та обговорення

Нормально розвинені пилкові зерна родини *Betulaceae* — 3-апертурні, округлої або еліптичної форми. Пори різко припідняті над поверхнею пилкового зерна, округлі або овальні [22]. Розміри пилку в різних умовах зростання вони можуть суттєво відрізнятися [1, 2]. Це підтверджують отримані нами дані (табл. 1). Так, середня довжина полярної осі пилкових зерен становила від 27,6 до 30,3 мкм. Найбільші показники виявлено у пилку рослини з дендрарію Ботанічного саду (30,3 мкм), насадженні у сквері «Поляна казок» (30,0 мкм), парку Героїв АТО (30,3 мкм). У дерев насаджень, розташованих біля автомобільних шляхів (№ 4—6), довжина полярної вісі була меншою на 3,4 % щодо такої у рослин з дендрарію КБС. Найменший показник відзначено у дерев з насадження біля АрМіт — 27,6 мкм, що на 9 % менше контрольного значення.

Довжина екваторіального діаметра пилку зменшувалася зі збільшенням аеротехногенного

забруднення. Діапазон варіювання цього показника — від 28,3 мкм (АрМіт) до 30,7 мкм (КБС). У пилку, зібраного з дерев у насадженнях, розташованих біля доріг з високим автотранспортним рухом та в зоні гострої дії АрМіт, цей показник був меншим на 4,6 і 7,8 % відповідно порівняно з рослинами у дендрарії КБС. Отже, вихлопні гази автомобільного транспорту чинять менший негативний вплив на чоловічу генеративну сферу рослин порівняно з викидами металургійних комбінатів. Зі збільшенням аеротехногенного навантаження зменшувалися не лише середні значення морфологічних параметрів пилку, а і їх максимальні та мінімальні значення. Так, найбільші мінімальні значення довжини полярної осі та екваторіального діаметра пилку виявлено у рослин КБС (25,9 та 26,1 мкм відповідно), а найменші — у рослин з насадження біля АрМіт (на 16,2 та 16,9 % менше від контрольних). В.В. Смирнов (2013) зазначає, що морфологічні параметри пилкових зерен *B. pen-*

dula залежать від місця збирання у кроні дерева, а також від інших чинників (освітленість, характер ґрунтів тощо). Зокрема діаметр варіював від 20 до 35 мкм [1]. За даними В.П. Бессонової (1994), в умовах забруднення середовища пилок деревних видів варіює за розмірами більше, ніж у рослин, які зростають у незабрудненій зоні [2]. Коефіцієнт варіації зазначених морфологічних показників пилку *B. pendula* в цілому в усіх насадженнях м. Кривий Ріг був низьким, хоча у рослин, які зазнавали впливу аерополітантів, — дещо більшими.

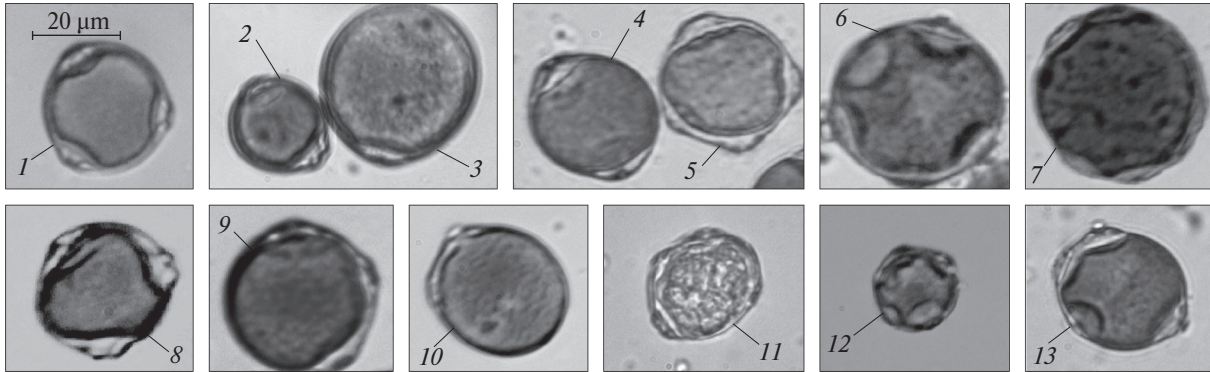
Порушення нормального розвитку пилкового зерна — це реакція рослинного організму на вплив несприятливих зовнішніх чинників [14]. Негативний вплив аерополітантів на формування чоловічого гаметофіту в деревних рослин супроводжується збільшенням кількості та різноманітності аномалій пилку [6].

У рослин *B. pendula* з насаджень м. Кривий Ріг нами виявлено 5 типів порушень морфо-

Таблиця 1. Морфологічні параметри (мкм) пилку *Betula pendula* Roth у насадженнях м. Кривий Ріг
Table 1. Morphological parameters (μm) of pollen *Betula pendula* Roth in plantations of Kryvyi Rih city

№	Місцезростання	Ознака	min	max	M ± m	CV, %
1	Криворізький Ботанічний сад (контроль)	Р	25,9	35,9	30,3 ± 0,18	5,8
		Е	26,1	36,7	30,7 ± 0,20	6,6
2	Сквер «Поляна казок»	Р	24,7	34,3	30,0 ± 0,19	6,3
		Е	25,0	35,5	30,4 ± 0,17	5,7
3	Парк Героїв АТО	Р	24,2	36,2	30,3 ± 0,20	6,7
		Е	25,5	33,9	30,4 ± 0,17	5,6
4	вул. Черкасова	Р	23,5	33,5	29,4 ± 0,19**	6,4
		Е	22,7	35,7	29,3 ± 0,19**	6,3
5	вул. Електрозаводська	Р	23,4	36,0	29,4 ± 0,22*	7,4
		Е	23,7	34,6	29,4 ± 0,21**	7,0
6	просп. Металургів	Р	23,4	34,4	29,0 ± 0,18**	6,2
		Е	24,8	34,0	29,3 ± 0,17**	5,8
7	ПРАТ «Північний ГЗК»	Р	22,3	34,3	29,1 ± 0,22**	7,4
		Е	22,7	33,5	29,0 ± 0,20**	6,7
8	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	Р	21,7	32,0	27,6 ± 0,22**	7,8
		Е	21,7	33,6	28,3 ± 0,20**	7,0

Примітка: Р — полярна вісь; Е — екваторіальний діаметр. Дані є статистично значущо відмінними за t-критерієм Стьюдента при: * — p = 99 %; ** — p = 99,9 %.



Типи аномалій пилку *Betula pendula* Roth у насадженнях м. Кривий Ріг: 1 — нормальний пилкок; 2—13 — атипичні пилкові зерна

Types of anomalies of pollen *Betula pendula* Roth in plantations of Kryvyi Rih: 1 — normal pollen; 2—13 — atypical pollen grains

логії пилку (рисунок): за розмірами («карлик», «гігант»), кількістю апертур (2, 4 5 і багато-апертурні), симетрією (асиметричний пилкок, пилкове зерно з асиметричними апертурами), архітектурою оболонки (з порушенням екзини та зморщений пилкок), складні аномалії (5-апертурне карликове пилкове зерно, пилкок з 4 асиметричними апертурами).

У всіх насадженнях було зафіксовано такі види порушень: «карлик», «гігант», пилкове зерно з 4 апертурами, асиметричний, зморщений пилкок та з порушенням екзини. У насадженнях, які зазнавали вплив аеротехногенного забруднення, виявлені аномалії траплялися з неоднаковою частотою (табл. 2). Найбільш поширеними були пилкове зерно з 4 апертурами (від 1,2 до 3,1 %), асиметричний пилкок (від 0,3 до 3,3 %) і з порушенням екзини (від 0,2 до 2,6 %). На ділянках з максимальним рівнем аеротехногенного навантаження (ПівнГЗК і АрМіт) виявлено в середньому 1,95 % тератоморфного пилку з порушеною екзиною, що в 6,5 разу більше порівняно з контрольним насадженням.

Загальна частка аномалій збільшувалася зі зростанням забруднення атмосферного повітря. У зонах з фоновим рівнем забруднення (КБС, парк Героїв АТО, сквер «Поляна казок») кількість морфологічно змінених зерен не перевищувала 5 %, причому найменше

атипового пилку було виявлено у рослин з дендрарію Ботанічного саду — 3,5 %. У насадженнях, які зазнавали вплив вихлопних газів автотранспорту, частка тератоморфного пилку була більшою в середньому приблизно вдвічі, а у насадженнях, розташованих поблизу металургійних комбінатів (ПівнГЗК та АрМіт), — втричі порівняно з контролем.

За даними Б.К. Калдибаєва (2003), який досліджував чутливість чоловічого гаметофіту *B. pendula* до вихлопних газів автотранспорту в м. Каракол, частка аномальних пилкових зерен у контрольному насадженні (Каракольський національний парк) становила 1,5 %, що у 2,3 разу менше за показник у КБС, а біля автотранспортних шляхів м. Каракол — 5,2 %, що майже в 1,5 разу менше від показників у придорожніх насадженнях м. Кривий Ріг [12]. Така відмінність пов'язана з більшим загальним і локальним антропогенним впливом на рослини в м. Кривий Ріг.

Урботехногенне середовище м. Кривий Ріг суттєво впливає на фертильність пилкових зерен *B. pendula* (табл. 3) — один із важливих параметрів, який дає змогу оцінити його потенційну життєздатність [23]. Загальна кількість фертильного пилку варіювала залежно від місцезростування насаджень *B. pendula* від 60,5 % (АрМіт) до 91,4 % (КБС). Навіть при фоновому рівні забруднення атмосферного

Таблиця 2. Частота аномалій пилоквих зерен *Betula pendula* Roth у насадженнях м. Кривий Ріг
Table 2. Frequency of anomalies of *Betula pendula* Roth in plantations of Kryvyi Rih city

№	Місцезростання рослин	Частка аномального пилку, %	Типи аномалій пилоквих зерен													
			за розмірами		за кількістю апертур			за симетрією		за архітектурою оболонки		складні				
			«карлик»	«гігант»	3 2 апертурирами	3 4 апертурирами	3 5 апертурирами	багатоапертурне	асиметричне	засиметричними апертурами	зморщенене	з порушеною екзиною	карликове з апертурами	з 4 асиметричними апертурами		
1	Криворізький Ботанічний сад (контроль)	3,5	0,5	0,2	—	1,9	0,1	—	0,3	—	0,2	0,3	—	—	—	—
2	Сквер «Поляна казок»	3,6	0,1	0,2	—	2,3	0,1	—	0,6	—	0,1	0,2	—	—	—	—
3	Парк Героїв АТО	4,8	0,5	0,2	0,1	1,3	0,1	—	1,2	—	0,1	1,3	—	—	—	—
4	вул. Черкасова	6,2	0,8	0,7	0,2	1,4	0,4	—	1,8	—	0,2	0,7	—	—	—	—
5	вул. Електроводська	6,7	1,0	0,2	0,1	1,4	0,1	—	2,3	—	0,4	1,2	—	—	—	—
6	просп. Металургів	7,2	0,5	1,2	0,3	1,2	—	—	3,3	—	0,3	0,4	—	—	—	—
7	ПРАТ «Північний ГЗК»	9,3	0,3	0,3	0,5	3,1	—	—	1,7	—	0,3	0,4	—	—	—	—
8	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	11,1	1,2	1,8	0,5	2,0	0,2	0,3	2,0	0,3	0,4	2,6	0,1	—	—	0,4

повітря, а саме у рослин у сквері «Поляна казок» та парку Героїв АТО, фертильність пилку була статистично значущо меншою порівняно з рослинами з дендрарію КБС. У дерев, які зростали біля доріг з високим автотранспортним потоком, середня кількість фертильного пилку була меншою на 8,3 %, а на ділянках, розташованих біля металургійних комбінатів (ПівнГЗК, АрМіт), — на 26,3 % порівняно з контрольним насадженням.

Схожі результати отримано в роботі О.В. Єрещенко та Л.П. Хлебової (2012), які досліджували вплив автотранспортних газів на фертильність пилоквих зерен *B. pendula* в м. Барнаул (середній показник на придорожніх ділянках становив 85,9 %, у контрольному насадженні — 96,5 %) [8].

Життєздатність пилку *B. pendula* у восьми насадженнях м. Кривий Ріг не перевищувала 50 %: максимальна — 49,1 % (у рослин Ботанічного саду), мінімальна — 14,3 % (у рослин з насадження біля АртМіт) (див. табл. 3).

Невисокий рівень життєздатного пилку суттєво впливає на репродуктивну здатність рослин *B. pendula* в насадженнях Криворіжжя. У пилку, який пророщували в лабораторних умовах, була статистично значущо меншою довжина пилоквих трубок порівняно з пилюком з дерев із дендрарію КБС. Швидкість проростання та довжина пилкової трубки є важливими характеристиками пилку, оскільки забезпечують конкурентоспроможність при його проростанні на приймочці маточки [10]. В.А. Лях та співавт. (2003) виявили, що важкі метали впливають на ріст та довжину пилоквих трубок, що супроводжується зменшенням довжини в міру збільшення концентрації шкідливих речовин [3]. Фактично таку реакцію ми спостерігали у рослин *B. pendula* з насаджень м. Кривий Ріг. Звертає увагу те, що коефіцієнт варіації кількості фертильного і життєздатного пилку був меншим за середнє значення, а довжини пилоквих трубок — більшим.

Характеристики якості пилку *B. pendula* дещо відрізнялися порівняно з *Pinus pallasiana* D. Don, *P. sylvestris* L. [13, 15], *Picea abies* (L.)

Таблиця 3. Якість пилку та довжина пилкових трубок *Betula pendula* Roth у насадженнях м. Кривий Ріг
Table 3. Quality of pollen and length of pollen tubes of *Betula pendula* Roth in plantations of Kryvyi Rih city

№	Місцезростання рослин	Частка фертильного пилку, %	CV, %	Частка пророслого пилку, %	CV, %	Довжина пилкової трубки, мкм	CV, %
1	Криворізький ботанічний сад (контроль)	91,4 ± 0,66	2,2	49,1 ± 0,60	2,7	45,9 ± 1,51	32,7
2	Сквер «Поляна казок»	91,2 ± 0,68*	2,3	44,9 ± 0,67**	3,2	42,1 ± 1,16	27,3
3	Парк Героїв АТО	91,1 ± 0,68*	2,8	43,3 ± 0,67**	3,2	41,8 ± 1,34*	31,8
4	вул. Черкасова	86,8 ± 0,73**	2,5	32,7 ± 0,31**	1,7	39,1 ± 1,19**	30,2
5	вул. Електрозаводська	83,6 ± 0,57**	2,0	34,9 ± 0,40**	2,2	39,0 ± 0,80**	20,3
6	просп. Металургів	81,0 ± 0,78**	2,7	30,1 ± 0,98**	5,6	37,2 ± 0,95**	25,4
7	ПРАТ «Північний ГЗК»	74,2 ± 0,69**	2,5	27,0 ± 0,63**	3,8	35,2 ± 0,87**	24,8
8	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	60,5 ± 0,72**	2,9	14,3 ± 0,20**	1,7	33,7 ± 0,76**	22,4

Дані є статистично значущо відмінними за t-критерієм Стьюдента при: * — p = 95 %; ** — p = 99,9 %.

Karst. та *P. pungens* f. *glauca* (Reg.) Beissn. [5, 16], дослідженими в цих же районах м. Кривий Ріг. Із п'яти видів найменше фертильного пилку було виявлено у *P. abies* (86,3 % (КБС) та 46,5 % (АрМіт)). Порівняно з контролем (КБС) найбільші відмінності за фертильністю пилку встановлено у *P. pungens* f. *glauca* (в 2 рази), тоді як у *B. pendula* — лише в 1,5 разу. Порівняно з контролем (КБС) життєздатність пилку в рослин *B. pendula*, які зростали біля АрМіт, була меншою в 3,4 разу, тоді як у п'яти видів хвойних — в 1,1 (*P. pallasiana*) — 1,7 разу (*P. abies*). З підвищенням рівня техногенного навантаження кількість тератоморфного пилку максимально збільшилася у *P. abies* (у 10,3 разу), найменше — у *P. pallasiana* (у 3,1 разу), а у *B. pendula* — в 3,2 разу. У *B. pendula* був значно вужчий спектр аномалій пилку, ніж у хвойних, а також були відсутні патології розвитку пилку. Частка пилкових трубок з патологіями розвитку при пророщуванні в лабораторних умовах у хвойних варіювала від 3,0 до 47,1 % [5, 13, 15, 16]. Низький рівень життєздатності пилку в рослин *B. pendula* навіть в умовах дендрарію Ботанічного саду може бути пов'язаний із загальним впливом природно-кліматичних умов Криворіжжя. За іншими характеристиками пилку, які відображують вплив аерополітантів на чоловічу генеративну сферу, *B. pen-*

dula в умовах м. Кривий Ріг поступалася видам родів *Pinus* L. та *Picea* Lindl.

Висновки

У рослин *B. pendula*, які зростають в умовах забрудненого середовища м. Кривий Ріг, особливо в зоні гострої дії викидів металургійних комбінатів, спостерігається порушення формування чоловічого гаметофіту, що призводить до зменшення розмірів пилкових зерен (довжина полярної осі — на 6,6 %, екваторіального діаметра — на 7,8 %), довжини пилкової трубки в 1,4 разу, кількості фертильного пилку в 1,5 разу, життєздатного пилку — в 3,4 разу, збільшення частоти аномалій у 3,2 разу при пророщуванні пилку в лабораторних умовах. Дещо меншу частоту таких порушень виявлено у рослин, які зазнають вплив вихлопних газів автотранспорту. Найчутливішими показниками до дії викидів металургійних комбінатів та вихлопних газів автотранспорту є життєздатність пилку та частота аномалій. Отримані дані вказують на те, що характеристики чоловічого гаметофіту *B. pendula* придатні для використання з метою біоіндикації забруднення довкілля. Їх можна комплексно застосовувати як тест-системи для визначення рівня техногенного навантаження в районах місцезростання рослин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Актуальные аспекты и специфика стандартизации и полного аллергенного экстракта пыльцы березы* / В.В. Смирнов, Д.О. Боков, С.В. Морохина, А.Н. Луферов // *Бутлеровские сообщения*. — 2013. — Т. 36, № 10. — С. 13—20.
2. *Бессонова В.Н.* Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В.Н. Бессонова // *Экология*. — 1994. — № 4. — С. 45—50.
3. *Влияние тяжелых металлов на жизнеспособность пыльцы некоторых древесных* / В.А. Лях, Т.Н. Пересыпкина, Е.В. Дубовая, Л.М. Фендюр // *Науч. вестн. СумГУ. Сер.: Технические науки*. — 2004. — № 2 (61). — С. 174—177.
4. *Годин В.Н.* Биологические особенности пыльцы *Pentaphylloides fruticosae (Rosaceae)* в связи с половой дифференциацией / В.Н. Годин // *Ботан. журн.* — 2004. — Т. 89, № 4. — С. 631—638.
5. *Гусейнова Е.Р.* Характеристика пилку *Picea abies* у насаждениях Криворіжжя / Е.Р. Гусейнова, І.І. Коршиков // *Інтродукція рослин*. — 2017. — № 4 (76). — С. 56—62.
6. *Дзюба О.Ф.* Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических пыльцевых спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии / О.Ф. Дзюба // *Нефтегазовая технология: Теория и практика*. — 2007. — № 2. — С. 1—22.
7. *Екологічний паспорт міста Кривого Рогу*. — Кривий Ріг, 2017. — 56 с.
8. *Ерещенко О.В.* Влияние погодных условий на изменчивость признаков пыльцы березы повислой (*Betula pendula* Roth.) / О.В. Ерещенко, Л.П. Хлебцова // *Известия Алтай. гос. ун-та. Сер. Биологические науки. Науки о Земле. Химия*. — 2012. — № 3/2. — С. 17—20.
9. *Зайцев Г.Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. — М.: Наука, 1984. — 424 с.
10. *Изучение пыльцы у аборигенных и интродуцированных в условиях Карелии представителей рода Betula L.* / Т.С. Николаевская, Л.В. Ветчинникова, А.Ф. Титов, О.Н. Лебедева // *Тр. Карел. науч. центра РАН*. — 2009. — № 4. — С. 90—95.
11. *Исаков И.Ю.* Определение размеров и жизнеспособности пыльцы местных и интродуцированных видов берез / И.Ю. Исаков, М.А. Мацнева // *Лесотехн. журн.* — 2015. — № 3. — С. 33—41.
12. *Калдыбаев Б.К.* Определение загрязнения окружающей среды г. Каракол методами биоиндикации / Б.К. Калдыбаев // *Вестн. ИГУ*. — 2003. — № 9. — С. 112—114.
13. *Коршиков І.І.* Якість пилку *P. pallasiana* з насаджень екологічно безпечних і техногенно забруднених територій степової зони України / І.І. Коршиков, О.В. Лаптева // *Укр. ботан. журн.* — 2014. — Т. 71, № 5. — С. 590—598.
14. *Куприянов П.Г.* Соотносительная роль факторов, вызывающих появление дефектных пыльцевых зерен у растений в природе / П.Г. Куприянов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1983. — 133 с.
15. *Лаптева О.В.* Вплив техногенно забрудненого середовища Криворіжжя на якість пилку *Pinus sylvestris* L. і *P. pallasiana* D. Don. / О.В. Лаптева // *Наук. вісн. НЛТУ України*. — 2016. — Вип. 26.5. — С. 204—209.
16. *Науково-практична оцінка та впровадження ефективних способів сприяння розвитку рослинного покриву на кар'єрно-відвальних комплексах Криворіжжя (науковий звіт)*. — Кривий Ріг, 2017. — 117 с.
17. *Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2010 році*. — К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. — 254 с.
18. *Носкова Н.Е.* Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной / Н.Е. Носкова, И.Н. Третьякова // *Хвойные бореальной зоны*. — 2006. — Т. 23, № 3. — С. 54—63.
19. *Осмонбаева К.Б.* Использование пыльцы растений в качестве тест-системы окружающей среды / К.Б. Осмонбаева. — Каракол: НГУ, 2010. — 147 с.
20. *Пархоменко Л.І.* Інтродукція і культура берез в Україні / Л.І. Пархоменко. — К.: Фітосоціоцентр, 2011. — 410 с.
21. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений / З.П. Паушева. — М.: Агропромиздат, 1980. — 304 с.
22. *Усовик О.В.* Критерии стандартизации индивидуальных аллергенов пыльцы деревьев при создании микст-аллергена / О.В. Усовик // *Иммунопатол., аллергол., инфектол.* — 2007. — № 1. — С. 34—41.
23. *Челак В.Р.* Биологические свойства пыльцы — жизнеспособность, фертильность и стерильность / В.Р. Челак // *Ботан. исследования*. — 1989. — № 4. — С. 31—38.
24. *Щепотьев Ф.Л.* Быстрорастущие древесные породы / Ф.Л. Щепотьев, Ф.А. Павленко. — М.: Сельхозиздат, 1962. — 373 с.
25. *Characteristics of pollen from natural triploid Betula hybrids* / L. Karlsdóttir, M. Hallsdóttir, A. Th. Thórsón & K. Anamthawat-Jónsson // *Grana*. — 2008. — N 47. — P. 52—59.

Рекомендувала О.П. Похильченко
Надійшла 20.02.2018

REFERENCES

1. *Smirnov, V.V., Bokov, D.O., Morohina, S.V. and Lufarov, A.N.* (2013), Aktualnyie aspekty i spetsifika standartizatsii i polnogo allergennogo ekstrakta pylytsyi beryozy [Actual aspects and specificity of standardization and full allergenic extract of birch pollen]. *Butlerovskiye soobsheniya* [Butlerov. messages], vol. 36, N 10, pp. 13—20.
2. *Bessonova, V.N.* (1994), Sostoyaniye pylytsyi kak pokazatel zagryazneniya sredi tyazhelyimi metallami [Pollen status as an indicator of environmental pollution by heavy metals]. *Ekologiya* [Ecology], N 4, pp. 45—50.

3. Lyah, V.A., Peresyipkina, T.N., Dubovaya, E.V. and Fendyr, L.M. (2004), Vliyanie tyazhyolyih metallov na zhiznesposobnost pyiltsyi nekotoryih drevesnyih [The influence of heavy metals on the viability of some pollen woody species]. Nauchnyy vestnik SumDU. Seriya: Tehnicheskie nauki [Bulletin of the Sumy State Universty. Series of Engineering Sciences], N 2, pp. 174–177.
4. Godin, V.N. (2004), Biologicheskie osobennosti pyiltsyi *Pentaphylloides fruticosa* (Rosaceae) v svyazi s polovoy differentsiatsiyey [Biological features of *Pentaphylloides fruticosa* (Rosaceae) pollen in connection with sexual differentiation]. Botan. zhurn. [Botanical Journal], vol. 89, N 4, pp. 631–638.
5. Guseynova, E.R. and Korshikov, I.I. (2017), Harakteristika pilku *Picea abies* v nasadzhennyah Krivorizhzhya [Characteristics of pollen *Picea abies* in plantations of Kryvyi Rih area]. Introduktsiya roslin [Plant Introduction], N 4 (76), pp. 56–62.
6. Dzyuba, O.F. (2007), Teratomorfnyie pyiltsevyie zerna v sovremennyih i paleopalinoologicheskikh pyiltsevyih spektarah i nekotoryie problemy palinostratigrafii [Teratomorphic pollen grains in modern and paleolalinological pollen spectra and some issues of palynostratigraphy]. Neftegazovaya tehnologiya: Teoriya i praktika [Oil and Gas Technology: Theory and Practice], N 2, pp. 1–22.
7. *Ekologichnyy pasport mista Krivogo Rogu* [Ecological passport of the Kryvyi Rih city] (2017), Kryvyi Rih, 56 p.
8. Ereschenko, O.V. and Hlebova, L.P. (2012), Vliyanie pogodnyih usloviy na izmenchivost priznakov pyiltsyi berezyi povisloy (*Betula pendula* Roth.) [The influence of weather conditions on the variability pollen parameters of the silver birch (*Betula pendula* Roth.)]. Izvestiya AGU. Seriya Biologicheskie nauki. Nauki o Zemle. Himiya [Izvestiya ASU. Series Biological Sciences. Earth Sciences. Chemistry], N 3/2, pp. 17–20.
9. Zajcev, G.N. (1984), Matematicheskaja statistika v jeksperimentalnoj botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 424 p.
10. Nikolaevskaya, T.S., Vetchinnikova, L.V., Titov, A.F. and Lebedeva, O.N. (2009), Izuchenie pyiltsyi u aborigennyih i introdutsirovannyih v usloviya Karelii predstaviteley roda *Betula* L. [The study of pollen in aboriginal and introduced representatives of the genus *Betula* L. in Karelia]. Trudy Karelskogo nauch. tsentra RAN [Research of the Karelian Scientific Center of the RAS], N 4, pp. 90–95.
11. Isakov, I.Y. and Matsneva, M.A. (2015), Opredelenie razmerov i zhiznesposobnosti pyiltsyi mestnyih i introdutsirovannyih vidov berez [Determination of the size and viability pollen of native and introduced species of birches]. Lesotekhnicheskij zhurnal [Forest Technical Journal], N 3, pp. 33–41.
12. Kaldyibaev, B.K. (2003), Opredelenie zagryaznenie okruzhayushey sredy g. Karakol metodami bioindikatsii [Determination of environmental pollution in the Karakol city using methods of bioindication]. Vestnik IGU [Bulletin of the ISU], N 9, pp. 112–114.
13. Korshikov, I.I. and Lapteva, O.V. (2014), Yakist pylku *P. pallasiana* z nasadzhen ekologichno bezpechnih i tehnogenno zabrudnenih teritoriy stepovoyi zoni Ukrayini [The quality of *P. pallasiana* pollen from plantations of ecologically safe and technogenically contaminated territories of the steppe zone of Ukraine]. Ukr. botan. zhurn. [Ukrainian Botanical Journal], vol. 71, N 5, pp. 590–598.
14. Kupriyanov, P.G. (1983), Sootnositelnaya rol faktorov, vyzyvayuschih poyavlenie defektnyih pyiltsevyih zeren u rasteniy v prirode [The relative role of factors that cause the appearance of defective pollen grains in plants in nature]. Saratov: Izd-vo Saratov. un-ta, 133 p.
15. Lapteva, O.V. (2016), Vplyv tehnogenno zabrudneno-go seredovischa Krivorizhzhya na yakist pylku *Pinus sylvestris* L. i *P. pallasiana* D. Don. [Influence of technogenically polluted environment on the quality of pollen *Pinus sylvestris* L. and *P. pallasiana* D. Don in the Kryvyi Rih area]. Naukoviy visnik NLTU Ukrainy [Bulletin of UNFU], vyp. 26, pp. 204–209.
16. *Naukovo-praktichna otsinka ta vprovadzhennya efektyvnyh sposobiv spriyannya rozvitku roslinnogo pokryvu na karerno-vidvalnih kompleksah Krivorizhzhya (naukoviy zvit)* [Scientific and practical evaluation and implementation of effective ways to promote the development of vegetation cover in the quarry and dump complexes of Kryvyi Rih (scientific report)] (2017), Kryvyi Rih, 117 p.
17. *Natsionalna dopovid pro stan navkolishnogo seredovischa v Ukrayini u 2010 rotsi* [National report on the state of the environment in Ukraine in 2010] (2011), Kyiv, Tsentri ekologichnoyi osviti ta informatsiyi, 254 p.
18. Noskova, N.E. and Tretyakova, I.N. (2006), Vliyanie stressa na reproduktivnyie sposobnosti sosny obyiknovennoy [The influence of stress on the reproductive potential of Scots pine]. Hvoynnye borealnoy zony [Coniferous of the boreal zone], vol. 23, N 3, pp. 54–63.
19. Osmonbaeva, K.B. (2010), Ispolzovanie pyiltsyi rasteniy v kachestve test-sistemy okruzhayushey sredy [The use of pollen from plants as an environmental test system]. Karakol, YSU, 147 p.
20. Parhomenko, L.I. (2011), Introduktsiya i kultura berez v Ukrayini [Introduction and culture of birch (*Betula* L.) in Ukraine]. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 410 p.
21. Pausheva, Z.P. (1980), Praktikum po tsitologii rasteniy [Practical course of plant cytology]. Moscow: Agropromizdat, 304 p.
22. Usovik, O.V. (2007), Kriterii standartizatsii individualnyih allergenov pyiltsyi derevev pri sozdanii mikst-allergena Standardization criteria of individual pollen allergens whith creating a mixed allergen. Immunopatologiya, allergologiya, infektologiya [Immunopathology, allergology, infectology], N 1, pp. 34–41.
23. Chelak, V.R. (1989), Biologicheskie svoystva pyiltsyi — zhiznesposobnost, fertlnost i sterilnost [Biological proper-

- ties of pollen — vitality, fertility and sterility]. *Botanicheskie issledovaniya* [Botanical Research], N 4, pp. 31—38.
24. *Schepotev, F.L. and Pavlenko, F.A.* (1962), *Bystroras-tuschie drevesnyie porodyi* [Fast-growing woody species]. Moscow: Selkhozizdat, 373 p.
25. *Karlsdóttir, L., Hallsdóttir, M., Thórsson, A.Th. and Anamthawat-Jónsson, K.* (2008), Characteristics of pollen from natural triploid *Betula* hybrids. *Grana*, N 47, pp. 52—59.

Recommended by O.P. Pokhylchenko
Received 20.02.2018

Ю.Н. Петрушкевич¹, И.И. Коршиков^{1,2}

¹ Донецкий ботанический сад НАН Украины,
Украина, г. Кривой Рог

² Криворожский ботанический сад НАН Украины,
Украина, г. Кривой Рог

МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЬЦЫ *BETULA* *PENDULA* ROTH В УСЛОВИЯХ КРИВОРОЖЬЯ

Цель — проанализировать качество и жизнеспособность пыльцы *Betula pendula* Roth, ее морфометрические характеристики под влиянием выбросов металлургических комбинатов, выхлопных газов автотранспорта и урбанотехногенной среды г. Кривой Рог.

Материал и методы. Объект исследования — свежесобранная пыльца *B. pendula* из восьми насаждений с разным количественным и качественным влиянием аэрополлютантов в г. Кривой Рог. Микропрепараты пыльцы готовили по стандартной методике, изучали с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star (Германия). Фертильность пыльцы определяли йодным методом, а жизнеспособность — с помощью ее проращивания в лабораторных условиях. Измерения осуществляли с использованием программы AxioVision 4.8.2.0. (06-2010).

Результаты. Выявлено негативное влияние на мужской гаметофит *B. pendula* эмиссий промышленных предприятий, выхлопных газов автотранспорта и фонового уровня загрязнения в городе. При остром действии выбросов металлургических комбинатов по сравнению с растениями дендрария Ботанического сада установлено уменьшение длины полярной оси на 6,6 % (30,3 и 27,6 мкм), экваториального диаметра — на 7,8 % (30,7 и 28,3 мкм) длины пыльцевой трубки — в 1,4 раза (45,9 и 33,7 мкм), доли фертильной пыльцы — в 1,5 раза (91,4 и 60,5 %), жизнеспособной пыльцы — в 3,4 раза (49,1 и 14,3 %), увеличение частоты аномалий в 3,2 раза (3,5 и 11,1 %). В меньшей степени влияют на пыльцу выхлопные газы автотранспорта и урботехногенная среда города в целом.

Вывод. Мужской гаметофит *B. pendula* чувствителен к воздействию атмосферного воздуха, поэтому показатели фертильности и жизнеспособности пыльцы, а также уровень ее аномальности можно исполь-

зовать для оценки степени влияния аэрополлютантов и уровня загрязнения в промышленных городах степной зоны Украины.

Ключевые слова: насаждения *Betula pendula*, пыльца, размеры, аномалии, фертильность, жизнеспособность, пыльцевая трубка, Кривой Рог.

Yu.M. Petrushkevich¹, I.I. Korshykov^{1,2}

¹ Donetsk Botanical Garden, National Academy
of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kryvyi Rih

² Kryvyi Rih Botanical Garden, National Academy
of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kryvyi Rih

MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE *BETULA PENDULA* ROTH POLLEN IN KRYVYI RIH CITY CONDITIONS

Objective — to analyze the quality and viability of pollen *Betula pendula* Roth, its morphometric characteristics, depending on the influence of emissions of metallurgical combines, exhaust gases of vehicles and urban-technical environment of Kryvyi Rih.

Material and methods. The object of the study was freshly harvested *B. pendula* pollen from eight plantations, which are subject of different quantitative and qualitative effects of air pollutants in Kryvyi Rih. Micropreparations were prepared according to the standard method, reviewed using the microscope Carl Zeiss Primo Star (Germany). The fertility of the pollen was determined by iodine method, and viability — by its germination under laboratory conditions. Measurements were made in AxioVision 4.8.2.0. (06-2010).

Results. There was found out negative influence on male gametophyte *B. pendula* of industrial enterprises, exhaust gases of cars and even background level of pollution in the city. For the acute emission of metallurgical combines compared with the plants of the arboretum of the botanical garden a substantial decrease in the length of the polar axis was made to 6.6 % (30.3 and 27.6 μm), the equatorial diameter to 7.8 % (30.7 and 28.3 μm), the length of the pollen tube — in 1.4 times (45.9 and 33.7 μm) the amount of fertile pollen — in 1.5 times (91.4 and 60.5 %), the amount of viable pollen in 3.4 times (49.1 and 14.3 %), increasing the share of anomalies up in 3.2 times (3.5 and 11.1 %). The pollutant emissions are less influenced by exhaust gases of motor vehicles and in general the urban-technical environment of the city.

Conclusion. The male gametophyte of *B. pendula* is sensitive to the effects of atmospheric airpollutants, therefore the fertility and viability parameters of the pollen and the level of its abnormalities, can be used to reflect the degree of exposure of the airpollutants and the level of pollution in the industrial cities of the Steppe zone of Ukraine as well.

Key words: plantations of the *Betula pendula*, pollen, size, anomalies, fertility, viability, pollen tube, Kryvyi Rih.