

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ МІСТА КРИВИЙ РІГ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ СТЕРИЛЬНОСТІ ПИЛКУ

Федорчак Е.Р.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
huseinova93@gmail.com

У статті досліджено стерильність пилку *P. abies* на різних ділянках Кривого Рогу та стан навколишнього середовища в межах міста. Кривий Ріг є одним з найкрупніших промислових міст України з підвищеним техногенним навантаженням, що обумовлено наявністю різних галузей промисловості. Встановлено, що в умовах пресингу внаслідок інтенсивного автотранспортного руху стерильність пилку у дерев *P. abies* зростає у 2,2 рази порівняно з мало забрудненою ділянкою. Це підтверджується й значеннями показників коефіцієнта стерильності пилку (Ксп), який збільшується у середньому 3,1 рази у рослин *P. abies* які зростають біля промислових підприємств, що є додатковим свідченням високого техногенного навантаження на навколишнє середовище. Відмічено, що поступове збільшення відсотку безкрохмальних зерен призводить до зменшення фертильного пилку та спричиняє зміни коефіцієнту чутливості (Кч). Найвищим цей показник був у рослин *P. abies* з насаджень ботанічного саду та складав 5,2. Найнижчі показники Кч зафіксовані у насаджень *P. abies*, що ростуть біля ПрАТ «ПівнГЗК» та біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що у 4,3 та 5,8 разів менше порівняно з контролем. За значеннями умовного показника пошкодження *P. abies* виявлено, що найсприятливіші умови для рослин наявні в КБС НАН України, парку Шахтарський, парку Героїв АТО, де стан території характеризується як безпечний. Деяко гірші умови зростання для *P. abies* відмічено по вул. Черкасова та Ватутіна, де рівень ушкодження рослин відмічався як середній та вище за середній, що характеризує помірно небезпечний та небезпечний стан території. Найгірші умови навколишнього середовища відзначено по проспекту Металургів, а особливо поблизу комбінатів ПрАТ «ПівнГЗК» і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», де ураженість *P. abies* досягає високого рівня, а стан цих територій відзначається як надзвичайно небезпечний. Тому у цих зонах необхідно провести ряд цілеспрямованих заходів щодо відновлення екологічного стану ушкоджених територій та біосистем. **Ключові слова:** *P. abies*, забруднення, пилок, стерильність, стан середовища.

Environmental assessment of the state of the city of Kryvyi Rih using the analysis of pollen sterility. Fedorchak E.

In the article, we investigated the sterility of *P. abies* pollen in different plantations of Kryvyi Rih and the state of the environment within the city. Kryvyi Rih is one of the largest industrial cities of Ukraine with an increased technogenic pressure due to the presence of various industries. We found that under pressure conditions due to intensive motor vehicle traffic, pollen sterility in *P. abies* trees increases by 2.2 times compared to a lightly polluted area. This is also confirmed by the values of the coefficient of pollen sterility (Cps), which increases by an average of 3.1 times in plants of *P. abies* growing near industrial enterprises, which is an additional evidence of a high man-made pressure on the environment. It was noted that a gradual increase in the percentage of starch-free grains leads to a decrease in fertile pollen and causes changes in the vulnerability coefficient (Cv). This indicator was the highest in *P. abies* plants from the plantations of the botanical garden and was 5.2. The lowest values of Cv were recorded in the plantations of *P. abies* growing near Private JSC 'Northern Ore Dressing Works' and near the metallurgical plant Public JSC 'ArcelorMittal Kryvyi Rih', which are 4.3 and 5.8 times less compared to the control. According to the values of the conditional indicator of damage to *P. abies*, it was found that the most favorable conditions for plants are available in the Kryvyi Rih Botanical garden of National Academy of Sciences of Ukraine, Shakhtarskyi Park, Heroiv ATO Park, where the state of the territories is characterized as safe. Somewhat worse growth conditions for *P. abies* were noted along the Cherkasov street and Vatutin street, where the level of plant damage was considered as medium and above medium, which characterizes the moderately dangerous and dangerous state of the territory. The worst environmental conditions were noted along Metalurgiv Avenue, and especially near combines Private JSC 'Northern Ore Dressing Works' as well as Public JSC 'ArcelorMittal Kryvyi Rih', where the damage of *P. abies* reaches a high level, and the condition of these areas is considered as extremely dangerous. Therefore, in these zones, it is necessary to carry out a number of targeted measures to restore the ecological state of damaged territories and biosystems. **Key words:** *P. abies*, pollution, pollen, sterility, state of the environment.

Постановка проблеми. Сучасний стан забруднення повітря є однією із найважливіших екологічних проблем в усьому світі. Кожна країна стикається з ними, внаслідок чого виникають питання не тільки про їх вирішення, але перш за все про визначення рівня забруднення, особливо гостро це питання стоїть міських і промислових територій [1, 2, 3, 4]. У великих містах працюють різні промислові підприємства, інтенсивно зростає рух автотранспорту, що призводить до утворення високого рівня забруднювачів газоподібних і твердих частинок, які вики-

даються в повітря [5, 6] та негативно впливають на живі організми [4, 7].

У системі заходів з покращення екологічної ситуації міст важливе значення відіграють деревні насадження. Вони виконують різноманітні функції: санітарно-гігієнічну, декоративно-формувальну, природоохоронну та культурно-освітню [6, 7, 8]. Зелені насадження поглинають газоподібні викиди, затримують пил та інші тверді частки, збагачують атмосферу корисними для людини фітонцидами і легкими іонами, пом'якшують мікроклімат, а також зменшують

негативний вплив радіоактивного забруднення [3, 4, 8]. Проте, покращуючи умови середовища, рослини самі зазнають пригнічення [1, 2, 3], що спричиняє зміни їх функціональних показників. Тому вони є зручними об'єктами для біологічного моніторингу стану навколишнього середовища.

Актуальність дослідження. Фітоіндикація, складовою якої є пилковий аналіз, – доступний, надійний, відносно простий і водночас ефективний спосіб оцінки якості середовища. Високий рівень забруднення спричиняє погіршення якості пилку, що призводить до утворення великої кількості стерильних пилових зерен та, в подальшому, до зменшення їх життєздатності [2, 9].

У ході таких досліджень обирають види, які широко використовуються в озелененні міст та є біоіндикаторами довкілля [4, 10, 11, 12, 13]. Такими рослинами є вид *Picea abies* (L.) Karst., чоловіча генеративна сфера якої дуже чутлива до аерополітантів [14], а також вона поширена у різних за призначенням зонах промислових міст [8, 13, 15, 16], в тому числі і в Кривому Розі [17, 18]. Оскільки Кривий Ріг – один з найбільших індустріальних міст України, де рівень забруднення перевищує норму [19], актуальною є оцінка стану навколишнього середовища з використанням *P. abies* в якості об'єкта дослідження.

Мета – аналіз стерильності пилку *P. abies* в різних насадженнях Кривого Рогу та стану навколишнього середовища у межах міста.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувались у відділах оптимізації техногенних ландшафтів в рамках науково-дослідних робіт «Науково-практична оцінка та впровадження ефективних способів сприяння розвитку рослинного покриву на кар'єрно-відвальних комплексах Криворіжжя» (2017-2019 рр.), державний номер реєстрації 0117U000830 та Ценотичні, флористичні зміни та морфоструктурні адаптації видів у природних і штучних угрупованнях посушливого Правобережного степу в зв'язку з глобальним потеплінням (2017-2021 рр.) державний номер реєстрації 0117U000829.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі впливу техногенних викидів на якість пилку, як хвойних [16, 20, 21], так і листяних рослин [22, 23, 24] присвячено багато робіт. Збільшення вмісту забруднювачів повітря, таких як CO₂, SO₂, оксиди азоту, сажи, пилу тощо, завжди присутні в міських середовищах проживання та справляють негативний вплив на чоловічу генеративну сферу хвойних дерев [13], проте, основне техногенне навантаження на рослини спричиняється шкідливими викидами з промислових підприємств. У вищезгаданій публікації українських авторів [16], виявлено у ході трирічних спостережень, що показники стерильності пилку у іншого виду роду *Picea* – *P. pungens* були найбільшими у рослин які зростали в умовах сильного рівня

забруднення поблизу Донецького металургійного заводу і коливались в межах 20–30%. Найнижчими ці показники були в насадженнях Донецького ботанічного саду і становили 17–21%. У ході досліджень [25] відмічено, що серед 7 видів ялин-інтродуцентів з насаджень дендрологічного парку «Асканія-Нова» найвищу фертильність пилку (89% та 78%) і найменшу його стерильність (11% та 22%) мали рослини *P. abies* та *P. pungens* відповідно.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Дана стаття присвячена питанням моніторингу екологічного стану міста Кривий Ріг, яке входить до десятки міст України з найвищим рівнем забруднення повітряного басейну. Головними джерелами повітряних політантів в місті є викиди промислових підприємств та автотранспорту.

Новизна. Вперше досліджено стерильність пилку *P. abies* на різних ділянках Кривого Рогу та оцінено стан навколишнього середовища в межах міста.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для дослідження слугував свіжозібраний пилок *P. abies* в період масового розкриття стробілів. Об'єктами вивчення були 30–40-річні дерева *P. abies* восьми насаджень, які було відібрано в залежності від рівня техногенного навантаження по всій довжині міста (126 км) в трьох районах: Тернівському, Покровському та Металургійному (рис. 1). Перші три насадження знаходились на відносно малозабруднених аерополітантами ділянках – дендрарій Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС) (ділянка 1, контроль), парк Шахтарський (ділянка 2) і парк Героїв АТО (ділянка 3). Наступні три – біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху по вул. Черкасова (ділянка 4), по вул. Ватутіна (ділянка 5,) та по проспекту Металургів (ділянка 6). Найвища концентрація аеротехногенних викидів спостерігається на ділянках 7 – поблизу ПрАТ Північного гірничо-збагачувального комбінату («ПівніГЗК») та 8 – біля металургійного гіганту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Мікропрепарати готували за стандартною методикою [26]. Для вивчення стерильності пилових зерен в якості барвника використовували йодний розчин. Аналізували по 3000 клітин з насадження, фертильним вважали пилок, який цілком, або наполовину заповнений крохмалем, а стерильним – в якому його зовсім не було, або містилися лише залишки крохмалю.

Дослідження проводили за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (×400). Для фотографування застосовували цифрову камеру Canon PowerShot A620.

Кількість стерильних пилових зерен визначали у відсотках (%), коефіцієнт стерильності пилку обчислювали за формулою:

$$K_{сп} = \frac{C_{рл}}{C_{к}}$$

Ксп – коефіцієнт стерильності пилку;

Срд – стерильність пилку в районі дослідження;

Ск – стерильність пилку в контролі.

Коефіцієнт чутливості (Кч) органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення досліджували шляхом відношення фертильних пилових зерен до стерильних – Ф/С [27].

Для оцінки стану навколишнього середовища використовували тест «Стерильність пилку рослин фітоіндикаторів» [26]. Статистичні відмінності визначали за t-критерієм Стьюдента з використанням програмного пакету MS Excel 2007.

Результати та обговорення. Оцінка інтенсивності забруднення середовища у Кривому Розі за стерильністю пилових зерен *Picea abies* дозволила встановити кількісні відмінності чоловічого гаметофіту залежно від рівня забруднення досліджуваних територій. Аналіз результатів показав суттєве варіювання кількості стерильного пилку від 16,2 до 53,5% на різних ділянках міста (рис. 2).

Найменша кількість стерильного пилку була зафіксована в КБС НАН України (ділянка № 1 – контроль) і складала 16,2%. Схожі значення (17,4% та 22,1%) до контролю були відмічені у дерев, що зростають у парку «Шахтарський» (ділянка № 2) та парку Героїв АТО (ділянка № 3) відповідно. Біля доріг (ділянка № 4, № 5, № 6) з високим рівнем



Рис. 1. Картохема регіону Кривого Рогу на якій зображені ділянки, що досліджувались

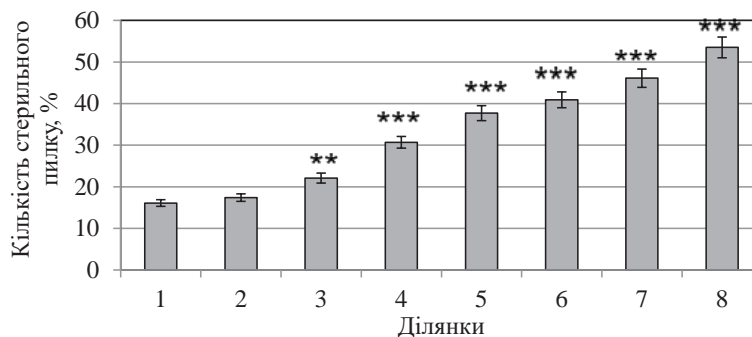


Рис. 2. Стерильність пилку на різних ділянках Кривого Рогу

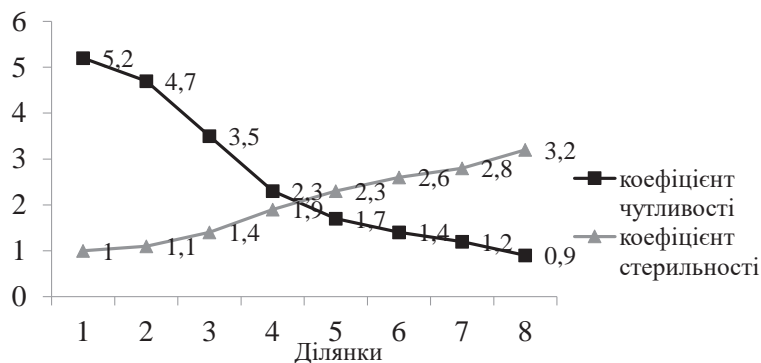


Рис. 3. Рівень стерильності та чутливості пилку на різних ділянках Кривого Рогу

автотранспортного руху цей показник складав – 30,7–40,9%, що в середньому у 2,2 разів більше, ніж у ботанічному саду. Такі результати свідчать про те, що вихлопні гази автотранспорту призводять до погіршення якості пилку та спричиняють збільшення кількості безкрохмальних пилових зерен у насаджень, які зростають біля автошляхів. Проте, основне техногенне навантаження на рослини спричиняється шкідливими викидами з промислових підприємств.

Високі показники стерильного пилку *P. abies* зафіксовані і у наших дослідженнях біля промислових підприємств, які були максимально високими порівняно з контролем. Так, біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) кількість стерильного пилку складала 46,1% та 53,5%, що у 2,8 і 3,3 разів більше, ніж у дендрарії КБС відповідно.

З наведених вище даних очевидно достовірно послідовне збільшення кількості безкрохмальних пилових зерен у *P. abies*, ніж на відносно чистих територіях. Це підтверджується й значеннями показників коефіцієнта стерильності пилку – Ксп (рис. 3), що є додатковим свідченням високого техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Мінімальні показники Ксп зафіксовані у ботанічному саду (ділянка №1) та парках (ділянка № 2, № 3) та не перевищували значення 1,4. Біля автошляхів (ділянка № 4, № 5, № 6) коефіцієнт стерильності (Ксп) варіював в межах 1,9–2,6, а біля промислових підприємств ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) збільшився до 2,8 та 3,2 відповідно.

Показник кількості стерильного пилку у *P. abies* обернено пропорційний до частки фертильного, тому поступове збільшення відсотку безкрохмальних зерен призводить до зменшення останнього та спричиняє зміни коефіцієнту чутливості (відношення фертильних пилових зерен до стерильних) органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення – Кч (див. рис. 2). У контрольній зоні коефіцієнт чутливості був максимальним і складав 5,2. З підвищенням рівня забруднення він поступово зменшувався: у зоні інтенсивного руху автотран-

спорту даний показник знизився в середньому майже в 3 рази; у насаджень, що ростуть біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) – у 4,3 разів, а біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) – у 5,8 разів.

Рівень стерильності пилку рослин-біоіндикаторів характеризує не лише загальну токсичність навколишнього середовища, а й відображає інтенсивність мутагенної напруги [26]. Відповідно до значень умовного показника ушкодження (УПУ) в межах досліджуваної території можна виділити відмінні за рівнем токсико-мутагенної напруги зони (табл. 1).

Аналіз умовного показника ушкодження показав, що насадження *P. abies* в ботанічному саду (ділянка № 1) та парках (ділянка № 2, № 3) характеризують безпечний стан території, та мають низький рівень ушкодженості (0,00–0,03) або нижче за середній (0,16). В наступних двох насадженнях *P. abies*, що ростуть біля доріг (ділянка № 4, № 5) з інтенсивним автотранспортним рухом, рівень ушкодженості рослин відзначається як середній та вище за середній (0,39–0,58) та характеризують помірно небезпечний та небезпечний стан території. Це свідчить про те, дерева відчувають негативну дію вихлопних газів автотранспорту, особливо на ділянці № 5, проте вони не призводять до істотного пошкодження рослин.

По проспекту Металургів (ділянка № 6) деревні особини *P. abies* мають високий рівень ушкодженості (0,66) і загрозливий стан та відображають надзвичайно небезпечні умови екологічної безпеки території.

Максимальні значення УПУ (0,80 та 1,00) виявлені біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 8) та біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) відповідно, стан територій відзначається надзвичайно небезпечний, а ушкодженість досліджуваного виду досягає високого рівня і знаходиться у катастрофічному стані.

Таким, чином, отримані дані свідчать про те, що найгірші умови для існування живих організмів спостерігаються на тих територіях, де працюють промислові підприємства міста. Крім цього, високий рівень ушкодженості рослин та надзвичайно небезпечні умови екологічної безпеки територій

Таблиця 1

Екологічний стан навколишнього середовища за токсико-мутагенним фоном

№	Ділянка	УПУ	Рівень ушкодженості	Категорія екологічної безпеки території за токсико-мутагенним фоном
1	КБС (контроль)	0,00	Низький	Безпечна
2	парк Шахтарський	0,03	Низький	Безпечна
3	парк Героїв АТО	0,16	Нижче за середній	Безпечна
4	вул. Черкасова	0,39	Середній	Помірно небезпечна
5	вул. Ватутіна	0,58	Вище за середній	Небезпечна
6	просп. Металургів	0,66	Високий	Надзвичайно небезпечна
7	ПрАТ «ПівнГЗК»	0,80	Високий	Надзвичайно небезпечна
8	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	1,00	Високий	Надзвичайно небезпечна

відмічено по проспекту Металургів (ділянка № 6), що знаходиться в Металургійному районі, де до того ж розташований найбільший металургійний комбінат ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8). Тому у цих зонах необхідно провести ряд цілеспрямованих заходів щодо відновлення екологічного стану ушкоджених територій та біосистем.

Висновки. Пілок *P. abies* є чутливим на зміну умов навколишнього середовища, що супроводжується збільшенням кількості стерильних пилоквих зерен від 16,2% до 53,5% з підвищенням рівня техногенного навантаження внаслідок дії вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів з промислових підприємств. За відсотком стерильних пилоквих зерен виявлено рівень ушкодження *P. abies* та стан територій, де ростуть ці рослини. Отримані дані показали, що в ботанічному саду (ділянка № 1) та парках (ділянка № 2, № 3) найбільш найсприят-

ливіші умови для насаджень *P. abies*. Деяко гірші показники в насадженнях *P. abies*, що ростуть біля доріг (ділянка № 4, № 5) рівень ушкодження рослин відзначається як середній та вище за середній (0,39–0,58) та характеризують помірно небезпечний та небезпечний стан території.

Найгірший стан навколишнього середовища відмічений по просп. Металургів (ділянка № 6) з високим рівнем ушкодження (0,66), а особливо біля промислових підприємств ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8), де ушкодження рослин досягає максимального рівня (0,80 та 1,00) відповідно. Тому на цих територіях слід провести заходи щодо відновлення екологічного стану територій, оскільки рослини на цих територіях мають найвищий рівень пошкодження порівняно з іншими дослідженими насадженнями.

Література

- Kuddus M., Kumari R., Ramteke P.W. Studies on air pollution tolerance of selected plants in Allahabad city, India. *Journal of Environmental Research and Management*. 2011. Vol. 2. P. 042–046.
- Бессонова В.П., Бессонов Є.П., Зверковський В.М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урботехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18(1). С. 70–83.
- Sadia HE., Jeba F., Uddin M.Z. Sensitivity study of plant species due to traffic emitted air pollutants (NO₂ and PM_{2.5}) during different seasons in Dhaka, Bangladesh. *SN Applied Sciences*. 2019. Vol. 1. P. 1377. DOI: 10.1007/s42452-019-1421-4.
- Azzazy M.F. Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt. *Plos One*. 2020. Vol. 15(3). P. 1–17. DOI:10.1371/journal.pone.0226315.
- Chan C.K., Yao X. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42(1). P. 1–42. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.003.
- Yang J., Chang Y., Yan P. Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM_{2.5} pollution. *Atmospheric Pollution Research*. 2015. Vol. 6, № 2. P. 267–277. DOI: 10.5094/APR.2015.031.
- Swami A. Impact of automobile induced air pollution on road side vegetation. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*. 2018. Vol. 9(1). P. 104–119. DOI: 10.31786/09756272.18.9.1.113.
- Ayan S., Sarsekova D., Kenesaryuly G., Yilmaz E., Gülseven O., Şahin İ. Accumulation of heavy metal pollution caused by traffic in forest trees in the park of Kerey and Janibek Khans of the city of Nur-Sultan, Kazakhstan. *Journal of Forests Science*. 2021. Vol. 67. P. 357–366.
- Ситнікова І.О., Филипчук Т.В. Паліноіндикація атмосферного повітря м. Чернівці. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. № 1(75). С. 80–87. DOI:10.25128/2078-2357.19.1.10.
- Миленька М.М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2008. Вип. 114. С. 111–114.
- Kvilala M., Lackova E., Urbancova L. Photosynthetic active pigments changes in Norway spruce (*Picea abies*) under the different acclimation irradiation and elevated CO₂. *Environmental Chemistry*. 2014. Vol. 1. P. 1–4. DOI: 10.1155/2014/572576.
- Chen L., Liu C., Zhang L., Zou R., Zhang Z. Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM_{2.5}). *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7(3206). P. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-017-03360-1.
- Nikolic M.B., Stefanović A.M., Veselinović M.M., Milanović D.S., Mladenović D.K., Mitrović Ž.S., Eremija M.S., Rakonjac B.L.J. Needle morpho-anatomy and pollen morphophysiology of selected conifers in urban conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. Vol. 17(2). P. 2831–2848. DOI: 10.15666/aecr/1702_28312848.
- Obratov-Petković D., Beloica J., Čavlović D., Djurdjević V., Belanović Simić S., Bjedov I. Modelling response of Norway spruce forest vegetation to projected climate and environmental changes in central Balkans using different sets of species. *Forests*. 2022. Vol. 13(5). P. 666. DOI: 10.3390/f13050666.
- Lepedus H., Cesar V., Suver M. The annual changes of chloroplast pigments content in current- and previous-year needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) exposed to cement dust pollution. *Acta Botanica Croatica*. 2003. Vol. 62(1). P. 27–35.
- Макогон І.В., Коршиков І.І. Якість пилку та насіннева продуктивність *Picea pungens* Engelm. у зоні викидів металургійних підприємств Донбасу. *Український ботанічний журнал*. 2010. Вип. 67(5). С. 736–745.
- Шевчук Н.Ю., Гусейнова Е.Р., Коршиков І.І. Розповсюдженість та життєздатність трьох представників роду *Picea* A. Dietr. у придорожніх насадженнях м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3(79). С. 75–82.
- Fedorchak, E. Influence of pollution on photosynthesis pigment content in needles of *Picea abies* and *Picea pungens* in conditions of development of iron ore deposits. *Ekológia (Bratislava)*. 2020. Vol. 39(1). P. 1–15. DOI: 10.2478/eko-2020-0001.
- Криворучкіна О.В. *Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали виїзного засідання комітету з питань екологічної політики та природокористування (Кривий Ріг, 24–25 жовтня 2019 р.). Кривий Ріг, 2019. С. 3–69.

20. Tretyakova I.N., Noskova N.E. Scotch pine pollen under conditions of environmental stress Russian. *Journal of Ecology*. 2004. Vol. 35(1). P. 20–26. DOI: 10.1023/b:ruse.0000011105.90297.07.
21. Vasilevskaya N., Osechinskaya P. Biomonitoring of the toxic effects of industrial emissions. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 295(03001). P. 1–7. DOI: 10.1051/e3sconf/202129503001.
22. Юсипіва Т.І., Коростильова Т.С. Вплив техногенного навантаження на фізіологічні та цитогенетичні показники генеративних органів представників роду *Tilia*. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2015. Вип. 23(1). P. 10–14. DOI:10.15421/011502.
23. Sénéchal H., Visez Charpin D., Shahali Y., Peltre G., Biolley Lhuissier F., Couderc R., Yamada O., Malrat-Domenge A., Pham-Thi 187 N., Poncet P., Sutra J-P. A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. *The Scientific World Journal*. 2015. P. 1–29. DOI: 10.1155/2015/940243.
24. Григорчук І.Д., Оптасюк О.М. Аналіз стерильності пилку деревних рослин в умовах міста Кам'янець-Подільський. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 145–150. DOI: 10.31861/biosystems2018.02.145.
25. Михайлецька І.В. Характеристика пилку та пилкового режиму видів з роду *Picea* A. Dietr. у дендропарку «Асканія-Нова». *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2020. Вип. 22. С. 67–73.
26. Горова А.І., Павличенко А.В., Борисовська О.О., Ґрунтова В.Ю., Деменко О.В. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»: навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 76 с.
27. Ібрагімова Е.Е. Екологічна оцінка дії техногенних хімічних забруднень на цитогенетичні показники вищих рослин в умовах Криму: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2008. 20 с.