

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

ФЕДОРЧАК ЕЛЬВІРА РАФІКІВНА



УДК 582.475.4:581.15:581.5 (477.63)

**ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИДІВ РОДУ
PICEA А. ДІЕТР. В УРБОТЕХНОГЕННИХ
УМОВАХ М. КРИВИЙ РІГ**

03.00.16 – екологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі оптимізації техногенних ландшафтів Криворізького ботанічного саду НАН України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Коршиков Іван Іванович,
Криворізький ботанічний сад
НАН України, директор

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор,
Зайцева Ірина Олексіївна,
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, кафедра фізіології
та інтродукції рослин, професор

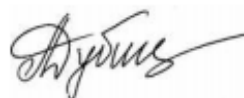
кандидат біологічних наук,
Комарова Ірина Олександрівна,
Криворізький державний педагогічний
університет, кафедра ботаніки та
екології, старший викладач

Захист відбудеться «24» лютого 2021 року о 12.00 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 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 неупинним процесом урбанізації в останні роки особливо гостро постало питання оптимізації міського середовища. У системі заходів з поліпшення екологічного стану міст важливе місце посідає використання рослин з високими сануючими властивостями (Кочергина, Дарковская, 2010). Зокрема такими рослинами є хвойні, які здатні цілорічно поглинати шкідливі гази, а хвоя затримувати пил (Saebo et al., 2012; Terzaghi et al., 2013; Chen et al., 2017). Крім цього, вічнозелені рослини швидко реагують на наявність в повітрі навіть малих доз токсичних речовин, тому їх вважають найкращими індикаторами стану повітряного середовища (Коршиков, 2016; Chen et al., 2017; Nikolic et al., 2019).

Серед асортименту хвойних особливе місце займають ялини, які цінні не тільки завдяки своїм сануючим здатностям, а й вирізняються високою цілорічною декоративністю завдяки пірамідальній формі крони, щільному охвоєнню, забарвленню хвої та надзвичайній різноманітності культиварів, які є бажаними в усіх типах міських насаджень (Білик, 2006; Кузнецов, 2010). На Криворіжжі поширеними в озелененні представниками роду *Picea* A. Dietr. є види *P. abies* (L.) Karst. та *P. pungens* Engelm., які зростають в поодиноких, рядових, групових і куртинних типах насаджень.

Наразі внаслідок глобальних кліматичних змін відбувається погіршення стану, росту й розвитку ялин, а тому значної актуальності набувають дослідження з вивчення еколого-біологічних особливостей інтродуцентів у насадженнях, особливо в індустріальних регіонах України. У промислових містах степової зони на загальний несприятливий фон кліматичних факторів для іншорайонних видів деревних рослин накладається негативний вплив токсичних аерополітантів (Коршиков та ін., 2014).

Зокрема, щорічний об'єм викидів зі стаціонарних джерел забруднення у м. Кривий Ріг становить понад 320,2 тис та із пересувних – 42,8 тис, що ставить місто на одне із перших місць в Україні за кількістю викидів забруднюючих речовин в атмосферу (Еколог. паспорт., 2017; Криворучкіна, 2019). Саме тому вивчення еколого-біологічних особливостей зростання дерев *P. abies* та *P. pungens* в урботехногенних умовах важливо як у теоретичному плані для розуміння впливу різноякісного аерополітантного забруднення на рослини, так і практичному – для біоіндикації стану довкілля та оптимізації біомоніторингу. Вище зазначене актуалізує проведення комплексного дослідження біоекології ялин, поширених у насадженнях великого промислового м. Кривий Ріг, яке дотепер не проводилося.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відділі оптимізації техногенних ландшафтів Криворізького ботанічного саду НАН України впродовж навчання в аспірантурі (2015–2018 рр.) в рамках відомчих тематик: «Екосистемологічні основи забезпечення сталого розвитку земель індустріального регіону» (№ ДР 0114U000686) (2014–2016 рр.), «Науково-практична оцінка та впровадження ефективних способів сприяння розвитку рослинного покриву на

кар'єрно-відвальних комплексах Криворіжжя» (№ ДР 0117U000830) (2017–2019 рр.).

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – виявити особливості зростання рослин *Picea abies* та *P. pungens* в насадженнях, що зазнають різнорівневого аеротехногенного впливу у потужному промисловому центрі Степової зони України – м. Кривий Ріг.

Для досягнення мети поставлені наступні *завдання*:

- дослідити поширення і вік видів роду *Picea* A. Dietr., в умовах м. Кривий Ріг;
- з'ясувати особливості росту, розвитку та стану рослин *P. abies* та *P. pungens* у різних типах насаджень м. Кривий Ріг;
- виявити зміни анатомо-морфологічних параметрів хвої *P. abies* та *P. pungens* за умов різнорівневого забруднення;
- встановити особливості сезонної динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів в асиміляційному апараті видів *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу;
- провести порівняльний аналіз морфометричних характеристик, якості пилку та визначити типи його аномалій у дерев *P. abies* та *P. pungens* в умовах урботехногенного середовища;
- дослідити врожайність шишок, насінневу продуктивність та якість насіння у *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу;
- здійснити порівняльний аналіз декоративності рослин двох видів роду *Picea* та оцінити перспективи їх використання в урботехногенному середовищі;
- визначити інформативні показники для біоіндикації забруднення середовища аерополітантами.

Об'єкти дослідження – рослини видів *Picea abies* та *P. pungens* в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг.

Предмет дослідження – біоморфологічні, фізіолого-біохімічні, анатомо-морфологічні та репродукційні особливості представників роду *Picea* в різних насадженнях міста.

Методи дослідження – польові, лабораторні дослідження, дендрологічні, морфометричні, порівняльно-морфологічні, фізіолого-біохімічні, палінологічні, методи насінництва, статистичні з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Наукова новизна отриманих результатів. *Уперше:*

- встановлено залежність біометричних параметрів *P. abies* та *P. pungens* від різного рівня забруднення в насадженнях м. Кривий Ріг, а також оцінено життєздатність рослин в куртинному типі посадки;
- показано, що за змінами анатомо-морфологічних параметрів хвої дерева *P. pungens* мають кращу адаптивну реакцію на техногенний стрес на відміну від рослин *P. abies*;
- простежено сезонну динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів у хвої *P. pungens* і *P. abies*, зокрема встановлено, що зниження вмісту хлорофілу є суттєвішим наприкінці вегетації у *P. abies*, особливо в насадженнях, що зазнали аеротехногенного впливу;

– проведено порівняльний аналіз морфометричних характеристик пилюк, його якості у двох видів роду *Picea*, а також встановлено 13 типів патологій пилюкових зерен і зростання кількості тератоморфного пилюк в умовах урботехногенного середовища;

– відмічено утворення насіння у шишках ялин на всіх моніторингових ділянках, але при збільшенні рівня забруднення коефіцієнт продуктивності різко зменшується, особливо у *P. pungens*;

– запропоновано використовувати в насадженнях промислового міста посадковий матеріал *P. abies* в локалітетах з незначним рівнем забруднення, а *P. pungens* – і при помірному рівні забруднення;

– доведена можливість використання окремих еколого-біологічних показників рослин роду *Picea* для індикації забрудненості середовища.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані аналітичні дані можуть використовуватись в системі міського зеленого будівництва, зокрема при виборі асортименту та селекції стійких до техногенних полютантів хвойних видів, типів посадок, агротехніки догляду за деревними породами з метою створення високо декоративних і довговічних насаджень. Отримані результати дозволяють використовувати представників роду *Picea* як цілорічні біоіндикатори аеротехногенного забруднення. Виділено групу анатомо-морфологічних, фізіолого-біохімічних та репродукційних показників, які можуть застосовуватись для діагностування стану рослин, особливостей перебігу процесів їх життєдіяльності та стійкості до несприятливих умов зростання, що необхідно під час організації і проведення моніторингу стану довкілля.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджені в науково-дослідні та навчальні процеси у закладах вищої освіти: Криворізькому національному університеті, Інституті екології Карпат, Дніпровському державному аграрно-економічному університеті.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є особистою науковою роботою здобувача, яка виконувалась впродовж 2015–2020 років. За тематикою роботи виконано інформаційний пошук та аналіз наукової літератури, самостійно опрацьовано методики дослідження, відібрано експериментальний матеріал із різних типів насаджень м. Кривий Ріг, проведено дослідження на базі наукових лабораторій Криворізького ботанічного саду НАН України. Автором здійснено аналіз отриманих даних, їх математичну обробку, узагальнення висновків та практичних рекомендацій, підготовку публікацій за результатами досліджень. Основні напрями досліджень визначено спільно із науковим керівником. Права співавторів у спільних публікаціях при підготовці дисертації не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати наукових досліджень доповідались і обговорювались на засіданнях відділу оптимізації техногенних ландшафтів КБС НАН України, а також оприлюднені на конференціях загальнодержавного й міжнародного рівнів: «Молодь і поступ біології» (Львів, 2016); «Сучасні тенденції збереження, відновлення та збагачення фіторізноманіття ботанічних садів і дендропарків» (Біла церква, 2016); «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (Дніпро, 2016); «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Луцьк,

2017); «Рослини та урбанізація» (Дніпро, 2017); «Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін» (Одеса, 2017); «Applied biotechnology in mining» (Dnipro, 2018); «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Кирилівка, 2018); «Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи» (Київ, 2019); «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Харків, 2019); «Пріоритетні напрямки дослідження Голонасінних у сучасних умовах» (Біла Церква, 2020).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових праць, із них 3 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (одна з них у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus); 5 – у наукових фахових виданнях України; 11 публікацій – у матеріалах і тезах міжнародних і всеукраїнських конференцій, симпозіумів і з'їздів.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел (340 найменувань, з них 160 – латиницею). Загальний обсяг дисертації становить 199 сторінок тексту, з них основний зміст викладений на 153 сторінках, ілюстрований 27 рисунками, 24 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ НА РОСЛИНИ В м. КРИВИЙ РІГ

У першому розділі представлено інформацію про екологічний стан та джерела надходження забруднених речовин в екосистему міста (Багрій та ін., 2002; Павліченко та ін., 2012; Еколог. паспорт., 2017 та ін.). Проведено огляд і аналіз робіт щодо впливу забруднювачів середовища та кліматичних факторів на хвойні рослини в урботехногенному середовищі (Макогон, Коршиков, 2010; Бессонова, Пономарьова, 2017; та ін.). Показано роль хвойних в оптимізації та біомоніторингу стану урботехногенного середовища (Mosseler et al., 2001; Собчак, 2009; Yang, та ін. 2015; Шевчук та ін., 2017; та ін.). На основі проведеного аналізу літературних джерел встановлена необхідність проведення дослідження з метою порівняння успішності зростання рослин родового комплексу *Picea A. Dietr.* в насадженнях м. Кривий Ріг та диференційованого використання їх в озелененні довкілля.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОБ'ЄКТІВ ТА МЕТОДІВ

У розділі наведено коротку характеристику кліматичних умов, рельєфу, геоморфологічної будови, гідрологічних особливостей, ґрунтів та рослинного покриву району досліджень.

Задля репрезентативного охоплення насаджень ялин у м. Кривий Ріг моніторингові ділянки розташовувались з північного сходу на південний захід у Тернівському, Покровському та Металургійному районах, які розрізняються фоновим рівнем аеротехногенного забруднення (рис. 1). Окрім того, окремі ділянки характеризуються різним локальним рівнем забруднення. Це насадження, які зростають в умовах високого рівня забруднення (зазнають надмірного впливу викидів промислових комбінатів): моніторингова ділянка № 7 – ПрАТ «Північний

гірничо-збагачувальний комбінат»; моніторингова ділянка № 8 – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». В ектопах з помірним рівнем забруднення (біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху) розташовані три моніторингові ділянки: № 4 – вул. Черкасова; № 5 – вул. Ватутіна; № 6 – проспект Металургів. Незначного рівня забруднення зазнають насадження трьох моніторингових ділянок: № 1 – дендрарій Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС); № 2 – парк Шахтарський; № 3 – парк Героїв АТО. Умовним контролем слугували насадження обох видів ялин у дендрарії КБС.

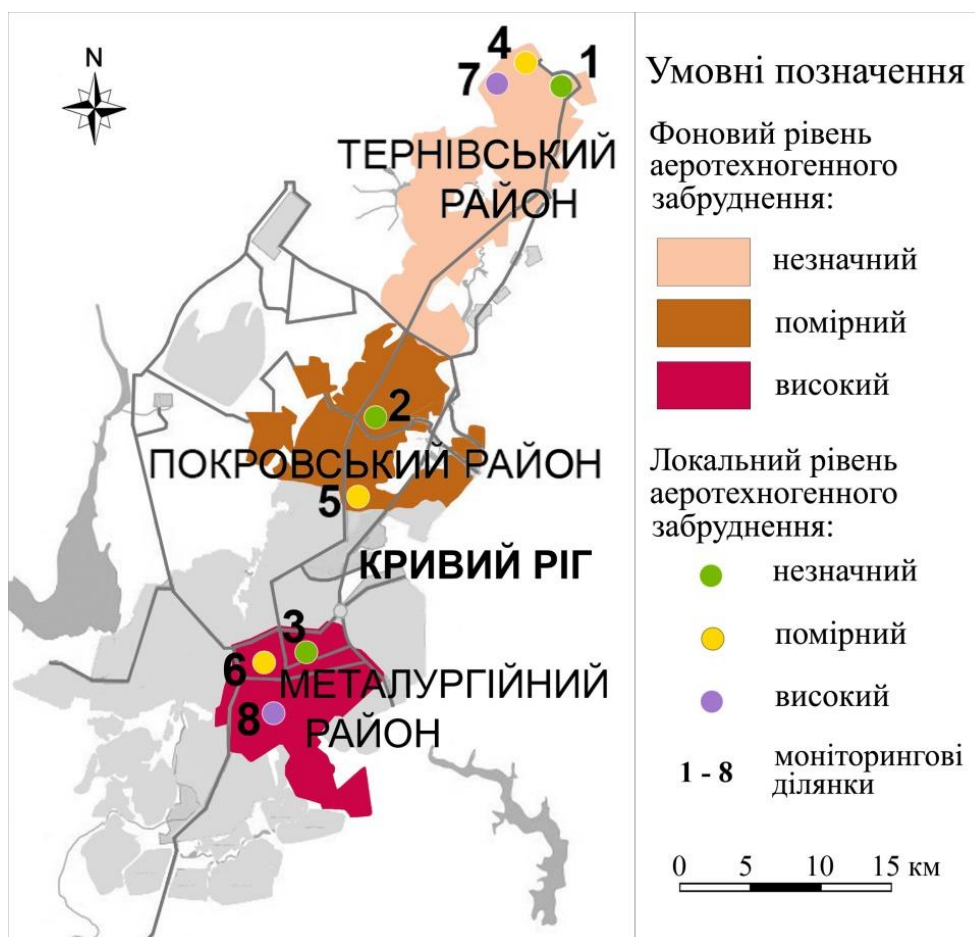


Рис. 1. Картосхема розташування моніторингових ділянок на територіях міста Кривого Рогу з різним рівнем забруднення

За об'єкти досліджень були обрані насадження і окремі дерева *Picea abies* (L.) Karst. та *P. pungens* Engelm., які є одними з найпоширеніших хвойних в озелененні Кривого Рогу та зростають в поодиноких, рядових, групових і куртинних типах насаджень.

Дослідження біометричних показників 30–40-річних дерев *P. abies* та *P. pungens* проводили маршрутно-польовим методом. Досліджувалася форма з блакитно-зеленою хвоєю (*P. pungens* 'Glausa'), оскільки саме вона набула значного поширення в озелененні як Кривого Рогу, так і інших міст України (Білик, Грабовий, 2006; Москалик, Костішин, 2008). Площу проєкції та об'єм крони вивчали за формулами Laar and Акça (1997). Життєвий стан оцінювали за

загальноприйнятою п'ятибальною шкалою В.Т. Ярмішко (2002). Середні показники життєвого стану нами перераховано у відсотки.

Для анатомо-морфологічних досліджень відбирались зразки дворічної хвої та пагону другого порядку. Морфометричні параметри хвої визначали на зрізах під мікроскопом БІОМЕД–4 бінокляр за збільшення 4×7. Зрізи робили з використанням ручного мікротома МС–2. Вивчення абсолютно сухої маси хвої та відсоток її вологи проведено за рекомендаціями С.А. Шевченко, Т.М. Сагайдачної (2011). Наявність некрозу і хлорозу визначали за класифікацією Е.І. Jäger (1980). Особливості анатомічної будови дворічної хвої вивчали на тимчасових препаратах, виготовлених за загальноприйнятими методами (Барикіна та ін., 2000). Вміст хлорофілів та каротиноїдів визначали в екстракті диметилсульфоксиду – за методикою А.Р. Wellburn (1994).

Морфометричні показники пилку встановлювали в програмі AxioVision. Виявляли відносну кількість і спектр аномалій пилку за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (збільшення 40×10). Вміст крохмалю в пилку як показник його фертильності визначали в розчині ацетокарміну за інтенсивністю забарвлення (Паушева, 1988). Життєздатність пилку (у трьох повторностях) встановлювали шляхом пророщування у 15%-ому розчині сахарози при температурі 25⁰С, через 2–3 дні підраховуючи кількість зерен (у %), які утворювали пилкові трубки (Паушева, 1988). У 100 пророслих пилкових зерен вимірювали довжину (у мкм) пилкових трубок. Типи аномалій пилку та пилкових трубок визначали за класифікаціями, наведеними в роботах (Носкова, Третьякова, 2006; Калашник, 2012; Коршиков, Лаптева, 2014; Тупіцин, 2015).

Насіння і шишки рослин досліджували в період масового дозрівання насіння восени. Морфометричні параметри шишок (довжина і ширина) та довжина проростків насіння вимірювались за допомогою штангенциркуля (точність вимірювання 0,1 см). Схожість та енергію проростання насіння досліджували за ГОСТом 13056.6-97. Масу 1000 насінин встановлювали шляхом зважування на електронних вагах з точністю до 0,001 г (KERN ABJ 220–4М). Врожайність шишок вивчали методом візуальної оцінки врожайності за 5-бальною шкалою В.Г. Каппера (1930). Для визначення комплексної декоративності в умовах промислового м. Кривий Ріг застосовували методику Н.В. Котелової, О.Н. Виноградової в модифікації для хвойних (Котелова, 1974; Таран, 1987).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакету програм MS Excel, істотність різниць було визначено за *t*-критерієм Стьюдента (Зайцев, 1984).

РОЗПОВСЮДЖЕНІСТЬ, ВІК І ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ВИДІВ РОДУ *PICEA* В УРБОТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ КРИВОГО РОГУ

При обстеженні насаджень хвойних у трьох адміністративних районів міста встановлено, що в озелененні переважає *P. pungens* та форми цього виду (56,4%); частка *P. abies* становить 43,6%. Виявлено дерева обох видів віком від 10 до 50 років, серед яких найчисленнішою є вікова група 30–40 років.

На сьогодні 35–40-річні дерева *P. abies* та *P. pungens* із насаджень контролю за всіма біометричними показниками мали переваги щодо дерев з інших досліджуваних насаджень ялини м. Кривого Рогу (рис. 2). Так, у *P. abies* висота дерева становила 14,8 м, діаметр стовбура 26,7 см, діаметр крони 4,4 м, проєкція крони 15,2 м² та її об'єм 68,8 м³. У *P. pungens* ті ж показники становили: 12,1 м; 25,9 см; 4,3 м; 14,5 м²; 56,3 м³ (табл. 1).

Таблиця 1

Біометричні характеристики дерев *Picea abies* та *Picea pungens*
на моніторингових ділянках

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Вік	Висота дерева (h), м	Діаметр стовбура (D), см	Діаметр крони, (D), м	Площа проєкції крони (S), м ²	Об'єм крони (V), м ³
<i>Picea abies</i>							
Незначний	1	30–40	14,8±0,14	26,7±0,71	4,4±0,11	15,2±0,58	68,8±3,15
	2	31–40	14,4±0,22	25,9±0,74	4,2±0,12	13,8±0,57	55,8±2,98**
	3	30–39	13,6±0,19***	24,8±0,63*	4,1±0,15	13,2±0,54**	47,6±2,01***
Помірний	4	33–39	12,7±0,18***	25,6±0,73	4,1±0,10*	13,2±0,56**	44,5±2,62***
	5	32–40	11,8±0,20***	24,6±0,65*	4,0±0,13**	12,6±0,59***	41,2±2,74***
	6	31–40	11,2±0,28***	24,3±0,68*	4,0±0,12**	12,6±0,46***	32,9±1,47***
Високий	7	32–40	10,9±0,20***	22,1±0,57***	3,8±0,09**	11,3±0,54***	33,7±1,76***
	8	30–40	9,8±0,27***	20,3±0,56***	3,6±0,14***	10,2±0,48***	26,2±1,98***
<i>Picea pungens</i>							
Незначний	1	30–40	12,1±0,22	25,9±0,65	4,3±0,11	14,5±0,41	56,3±2,46
	2	32–39	11,1±0,33	25,3±0,93	4,2±0,12	13,8±0,62	49,1±3,12
	3	30–38	10,3±0,23***	24,4±0,79	4,2±0,15	13,8±0,56	44,6±2,46***
Помірний	4	33–40	10,4±0,34***	24,8±0,73	4,1±0,10	13,2±0,60	40,7±2,75***
	5	32–38	9,3±0,42***	23,3±0,89*	4,1±0,13	13,2±0,51*	37,4±2,26***
	6	31–39	9,1±0,24***	23,4±0,74*	4,0±0,12*	12,6±0,53***	35,9±1,98***
Високий	7	30–40	8,7±0,24***	22,9±0,63**	3,9±0,09**	11,9±0,49***	32,4±1,87***
	8	30–38	8,5±0,29***	21,2±0,79***	3,8±0,14***	11,3±0,51***	30,2±2,21***

Примітка для табл. 1–3: відмінності достовірні за *t*-критерієм Стьюдента: * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$. $M \pm m$. - середнє значення з помилкою.

У шести насадженнях в обох видів ялин середні біометричні показники рослин достовірно були меншими від дерев контролю. Найменш розвинені дерева *P. abies* та *P. pungens* зростали на ділянках з високим рівнем забруднення, висота яких на 30,1% та 28,9%, діаметр стовбура на 20,6% та 14,9%, діаметр крони на 15,9% та 10,5%, проєкція крони на 29,3% та 20,0%, об'єм крони на 56,5% та 44,4% відповідно менші, аніж у дерев контролю. Очевидно, це є наслідком негативного хронічного впливу на рослини атмосферних викидів великих промислових підприємств. Спостерігалось зниження середніх показників у насадженнях *P. abies* та *P. pungens* і в умовах помірного рівня забруднення. Так, висота дерев на 19,6% та 20,7%, діаметр стовбура на 12,0% та 8,0%, діаметр крони на 8,3% та 5,4%, проєкція крони на 15,8% та 10,3%, об'єм крони на 42,5% та 32,5% відповідно менші порівняно з рослинами контролю.

Життєвий стан рослин залежно від аеротехногенного навантаження варіює від „здорових” (80–100%) до „відмираючих” (20–40%). Так, наприклад, життєвий

стан у *P. abies* та *P. pungens* в умовах високого рівня забруднення у 2,3 та 1,7 разів гірший, ніж у рослин контролю (рис. 3).



Рис. 2. Рослини *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б), що зростають на ділянках із незначним рівнем забруднення; рослини *Picea abies* (В) та *Picea pungens* (Г), які зазнають суттєвого аеротехногенного впливу

Негативний вплив викидів промислових підприємств і вихлопних газів автотранспорту досить чітко простежується і за кількістю суховершинних дерев у насадженнях обох видів рослин на різних ділянках. В насадженнях контролю серед *P. abies* та *P. pungens* кількість таких дерев складала 3,3%, на моніторингових ділянках 2 і 3 – 15,0% та 10,0%. На ділянках 4 – 6 їх частка становила 36,7% і 27,8%, а на ділянках 7 і 8 – 58,3% та 45,0%. У ялин за високого рівня забруднення суха частина крони становить 1–4 м, у рослин з моніторингових ділянок, що мають помірний рівень забруднення – до 3 м, а у дерев на ділянках із незначним рівнем забруднення – до 0,6 м. Відсоток суховершинних дерев *P. abies* переважає над часткою їх у *P. pungens* у всіх типах насаджень.

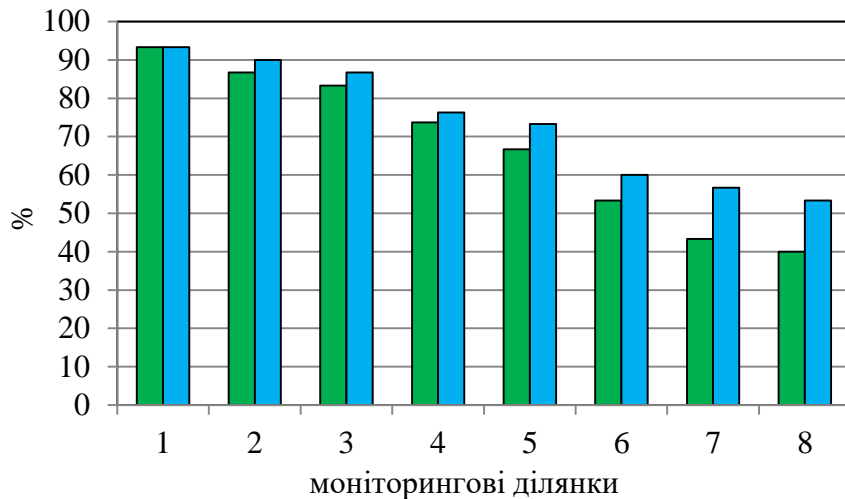


Рис. 3. Середній показник життєвого стану *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■

Одним із найпоширеніших типів насаджень у місті є куртини. Спосіб розміщення *P. abies* та *P. pungens* на території м. Кривий Ріг в багаточисельних (10–46 особин) щільних куртинах сприяє активному росту і розвитку дерев з 15 до 35 років, особливо рослин, які ростуть по зовнішньому контуру куртини. У віці 30 років дерева *P. abies* в середньому досягають 11,3 м у висоту та 22,4 см у діаметрі; водночас рослини *P. pungens* у віці 25 років в середньому досягають 8,6 м у висоту та 19,7 см у діаметрі. Загущені посадки *P. abies* та *P. pungens* (розміщенні за схемою 0,5–4 м між рослинами) призводять у віці 15–35 років до пригнічення дерев у центральній частині куртин. Це проявляється у зниженні біометричних характеристик дерев: в центрі куртини вони нижчого зросту, з тонким стовбуром, менш охоєні, з деформованою кроною, деякі з них – сухостійні.

Таким чином, в умовах незначного рівня техногенного забруднення (моніторингові ділянки 1, 2, 3) дерева *P. abies* та *P. pungens* у 30–40 віці добре розвинені і лише в окремих із них починає розвиватись суховершинність. Відмирання верхньої частини крони значно зростає кількісно в дерев з насаджень, які зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та, особливо, викидів промислових підприємств міста.

ХАРАКТЕРИСТИКА АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ ВИДІВ РОДУ *PICEA* ЗА УМОВ РІЗНОРІВНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Встановлено, що стан хвої дерев *P. abies* та *P. pungens* в умовах м. Кривий Ріг погіршується в насадженнях при помірному та високому рівні забруднення. Це відображається у зменшенні всіх морфометричних параметрів хвої: довжини, ширини, товщини, периметру поперечного перетину та площі поверхні, а також довжини пагона на 7,1–43,4%. Відмічено, що з підвищенням рівня забруднення у обох видів ялин зменшується довжина пагона у 1,6 рази порівняно з контролем (рис. 4). При цьому збільшується кількість хвої на пагоні в 1,3 рази відповідно, що є адаптивною реакцією на несприятливі умови середовища.

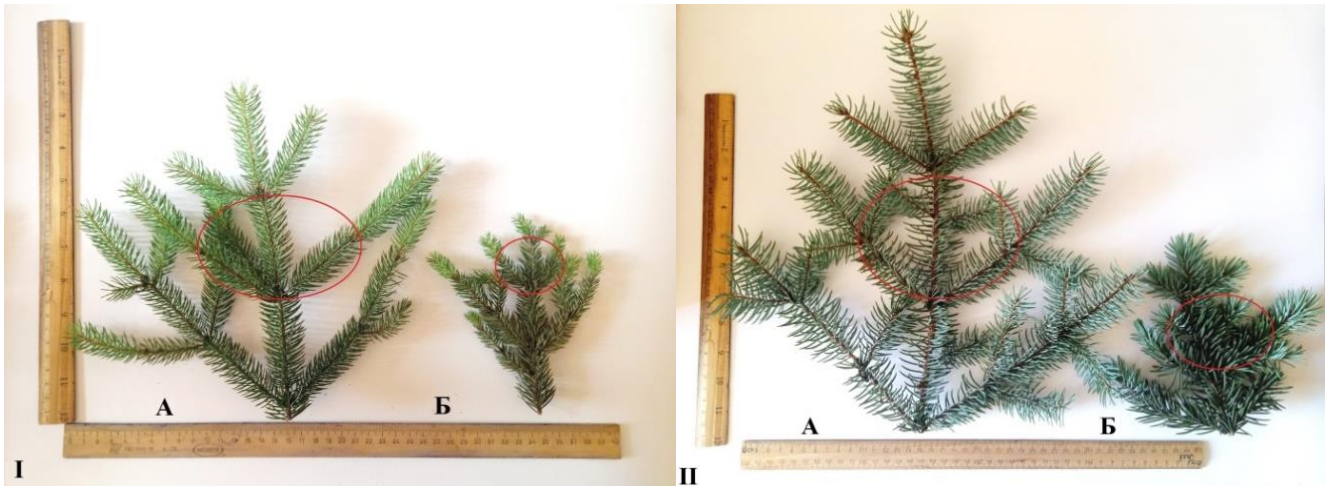


Рис. 4. Розміри дворічних пагонів *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II), що зростають: А – на моніторинговій ділянці 1 (умовний контроль); Б – на моніторинговій ділянці 8 (зона високого рівня забруднення)

У рослин при сильному рівні забруднення відбувається зменшення тривалості життя хвої в 1,4 рази порівняно з деревами на моніторингових ділянках із незначним рівнем навантаження (рис. 5), а наявність хлорозу і некрозу хвої, навпаки, зростає у 2,4 та 2,5 рази.

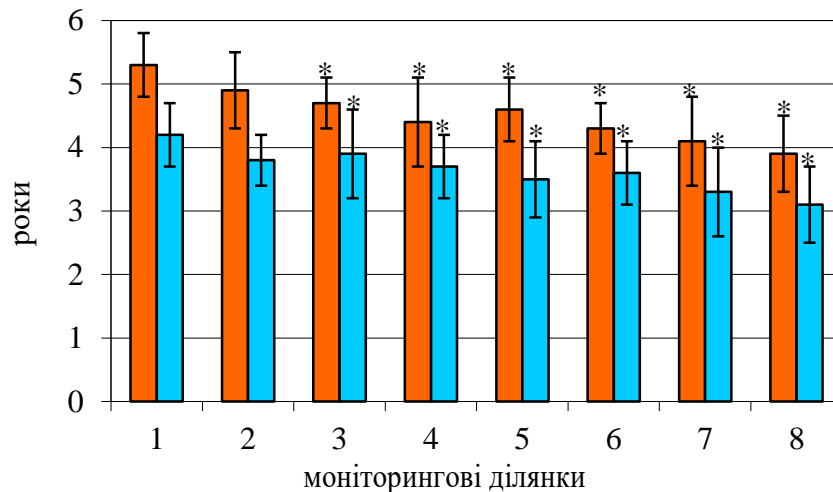


Рис. 5. Тривалість життя хвої *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ в різних насадженнях м. Кривий Ріг (* – значення достовірно відрізняються від контролю при $P < 0,05$)

Відзначено, що маса хвої в абсолютно сухому стані у дерев *P. abies* та *P. pungens* за високого рівня промислових викидів на 38,6% та 37,6% менша, ніж у контролі. А показник вологості хвої дерев обох видів, що зазнають техногенного впливу у 1,4 рази менше, порівняно з рослинами контролю. Це підтверджує негативну дію аерополітантів на ріст і розвиток хвої та вмісту в ній речовин, необхідних для основних процесів життєдіяльності (транспірації, фотосинтезу).

Також відмічено зниження розмірності анатомічних показників у межах 8,8–23,5% (товщини епідерми, гіподерми, ендодерми, діаметру центрального провідного циліндра (ЦПЦ), кількості смоляних ходів та їх діаметру) (рис. 6). Однак, щодо товщини ендодерми та показника діаметру ЦПЦ у *P. pungens* в

умовах урбосередовища нами відмічено збільшення порівняно з *P. abies*, що можна пояснити, як адаптивну реакцію рослин на техногенний стрес. Виявлено, що кількість смоляних ходів у хвої *P. abies* та *P. pungens* за високого рівня промислових викидів знижується у 5,1 та 2,6 рази порівняно з рослинами контролю, а також зменшується їх діаметр.

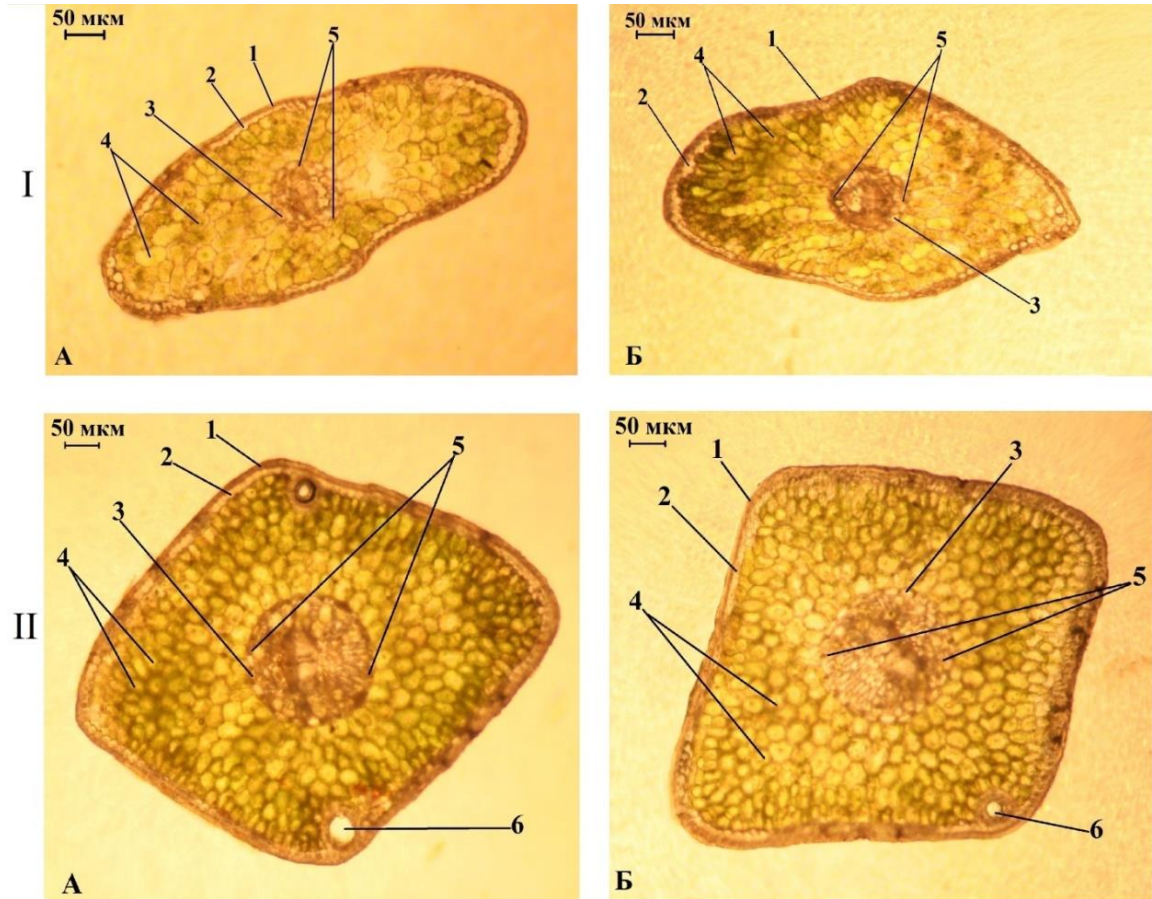


Рис. 6. Поперечні зрізи хвої *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II), що зростають: А – на моніторинговій ділянці 1 (умовний контроль); Б – на моніторинговій ділянці 8 (зона високого рівня забруднення); 1 – епідерма, 2 – гіподерма, 3 – ендодерма, 4 – складчастий мезофіл, 5 – центральний провідний циліндр (ЦПЦ), 6 – смоляні ходи

Виявлені у більшості випадків достовірні зменшення анатомо-морфологічних показників у насадженнях на ділянках із помірним та високим рівнем забруднення підтверджують факт істотного впливу токсичних речовин на будову хвої *P. abies* та *P. pungens*.

Особливе значення серед інформативних діагностичних показників стану фотосинтетичного апарату та адаптивних можливостей рослин має кількість хлорофілів *a* та *b*. Відзначено, що у хвої *P. abies* та *P. pungens* на всіх моніторингових ділянках з травня по вересень вміст хлорофілу *a* знижується до рівня 0,58 мг/г сирової речовини та 1,03 мг/г сирової речовини відповідно. Вміст хлорофілу *b* знижується до 0,29 мг/г сирової речовини та 0,33 мг/г сирової речовини відповідно. При цьому більшою мірою зменшується кількість хлорофілу *a*, ніж хлорофілу *b*. Водночас концентрація каротиноїдів, які виконують захисну функцію в реакціях фотосинтезу, збільшується до рівня 0,34 мг/г сирової речовини.

В умовах інтенсивного техногенного навантаження у *P. abies* та *P. pungens* за період досліджень встановлено зниження показників суми хлорофілів ($a+b$), співвідношення (a/b), співвідношення суми хлорофілів ($a+b$)/кар. порівняно з рослинами, що зростають за умов незначного рівня забруднення. Для *P. pungens* характерний вищий рівень вмісту фотосинтетичних пігментів в хвої, у порівнянні з *P. abies*, на всіх моніторингових ділянках. Доведено, що найбільший негативний вплив на вміст пігментів у хвої ялин здійснюють викиди промислових підприємств, тоді як реакція до дії автотранспортних викидів полягає у збільшенні кількості адаптивних реакцій.

Діапазон умісту пігментів у фотосинтетичному апараті хвойних протягом року залежить від кліматичних умов і екологічних факторів урботехногенного середовища. Так, зменшення показників пігментів спостерігалось у Металургійному районі, що знаходиться в південній частині міста, де, до того ж, розташований металургійний комбінат – «рекордсмен» серед джерел забруднення повітряного басейну.

Аналіз проведених досліджень свідчить, що у обох видів ялин фізіолого-біохімічні показники стану рослин швидше реагують на вплив аерополітантів, ніж анатомо-морфометричні. Отже, за ступенем розвитку хвої, станом її анатомо-морфометричних характеристик і пігментних комплексів можна робити висновки про подальший розвиток насаджень та визначати їх потенційні можливості зростання в умовах урбосередовища. А висока чутливість асимілятивних органів рослин роду *Picea* до змін рівня забруднення повітряного середовища надає можливість використовувати їх як цілорічно доступні біоіндикатори.

ОСОБЛИВОСТІ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ РЕПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ВИДІВ РОДУ *PICEA* В УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ

Пилок з восьми досліджених насаджень видів роду *Picea*, відрізнявся за морфометричними параметрами. У *P. abies* пилок має дещо менший розмір, ніж у *P. pungens*. Тіло пилкового зерна округле або дещо витягнутої форми з двома повітряними мішками. Частка нормально розвиненого за морфометричними показниками пилку максимальною була у дерев *P. abies* та *P. pungens* із ділянок контролю (табл. 2). Найменші за розмірами пилкові зерна були виявлені в рослин обох видів у насадженнях за високого рівня забруднення (ділянка 8): довжина пилку, довжина та висота тіла були відповідно у *P. abies* та *P. pungens* на 19,0; 24,2; 21,6% та на 14,2; 25,4; 14,9% менші, ніж у дерев, що зростають в контролі. Приблизно такі ж показники розміру пилку були й у рослин цих видів на ділянці 7 (високий рівень забруднення), що є проявом негативної дії викидів промислових комбінатів. На ділянках 4, 5, 6 із помірним рівнем забруднення морфометричні показники пилку *P. abies* та *P. pungens* за тими ж параметрами були менші в середньому на 8,2; 12,1; 11,4% та на 8,8; 13,4; 6,7%, порівняно із рослинами контролю.

Найбільші розміри повітряних мішків пилкових зерен за довжиною й висотою у *P. abies* та *P. pungens* зафіксовані у рослин також із контролю, а найменші – в дерев при високому рівні забруднення (табл. 2). Середня довжина повітряних мішків пилку у рослин *P. abies* при високому та помірному рівнях

забруднення нижча на 17,9 і 12,8%, а висота – на 19,1 і 14,5% порівняно з пилюком рослин із насаджень контролю. У *P. pungens* їх довжина відповідно зменшилась на 20,8 і 14,6%, а висота – на 21,6 і 15,9% відносно параметрів контрольних рослин. Зниження розмірів пилюкових зерен є підтвердженням чутливості пилюку до рівня забруднення повітря.

Таблиця 2

Морфометрична мінливість пилюкових зерен та повітряних мішків
Picea abies та *Picea pungens* з насаджень на моніторингових ділянках

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Пилюкове зерно, мкм			Повітряний мішок, мкм	
		довжина пилюку	довжина тіла	висота тіла	довжина	висота
		M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
<i>Picea abies</i>						
Незначний	1	113,0±0,80	82,4±0,95	73,1±0,64	44,5±0,31	51,2±0,56
	2	110,3±0,52**	81,1±0,78	72,2±0,54	42,7±0,34***	49,5±0,43*
	3	107,7±0,63***	78,4±0,85**	69,1±0,48*	40,9±0,33***	47,0±0,42***
Помірний	4	105,8±0,96***	76,5±1,07***	67,0±0,96***	40,0±0,46***	45,3±0,44***
	5	103,1±1,11***	73,5±1,16***	65,9±0,89***	38,4±0,38***	43,6±0,52***
	6	102,2±0,67***	67,3±0,85***	61,5±0,52***	37,9±0,36***	42,5±0,39***
Високий	7	96,7±0,67***	64,6±0,91***	59,6±0,76***	37,5±0,42***	42,0±0,48***
	8	91,5±0,77***	62,5±1,06***	57,3±0,78***	35,6±0,32***	40,8±0,44***
<i>Picea pungens</i>						
Незначний	1	118,5±0,71	91,0±0,79	74,3±0,86	48,6±0,33	57,4±0,70
	2	114,5±0,68***	85,4±0,87***	73,8±0,61	48,8±0,49	55,6±0,55*
	3	112,9±0,68***	84,3±0,73***	73,4±0,65	46,6±0,44***	54,4±0,43***
Помірний	4	109,8±0,77***	82,5±1,00***	72,4±0,53*	43,0±0,42***	49,6±0,47***
	5	107,5±0,91***	77,2±1,10***	68,5±0,79***	40,8±0,56***	47,8±0,59***
	6	106,8±0,80***	76,8±0,91***	67,1±0,86***	40,7±0,47***	47,4±0,52***
Високий	7	102,1±0,93***	71,6±0,95***	64,2±0,92***	39,6±0,56***	45,7±0,44***
	8	101,7±0,93***	67,9±0,91***	63,2±0,68***	37,4±0,51***	44,3±0,41***

За надмірної дії аерополітантів промислових підприємств вміст крохмалю в пилюку та життєздатність пилюкових зерен в обох видів зменшується майже вдвічі, порівняно з пилюком насаджень контролю.

У рослин видів роду *Picea*, які зазнають аеротехногенного впливу, не тільки погіршувалась якість пилюку, а й утворювалось значно більше недорозвиненого та тератоморфного пилюку, ніж у дерев з ділянок із незначним рівнем забруднення (рис. 7). Зокрема, найбільша кількість пилюку з аномаліями у *P. abies* та *P. pungens* відмічена у рослин, за помірного та високого рівня забруднення, що в середньому у 2,4 і 3,6, а також у 2,2 і 3,5 разів відповідно більше порівняно з насадженнями, що зростають в контролі. Встановлено вісім типів аномалій пилюку в рослин обох видів з насаджень контролю і 13 типів у рослин за умов високого та помірного рівня забруднення. Зазначимо, що у дерев із паркових насаджень міста кількість аномального пилюку була вищою, ніж у рослин з дендрарію ботанічного саду.

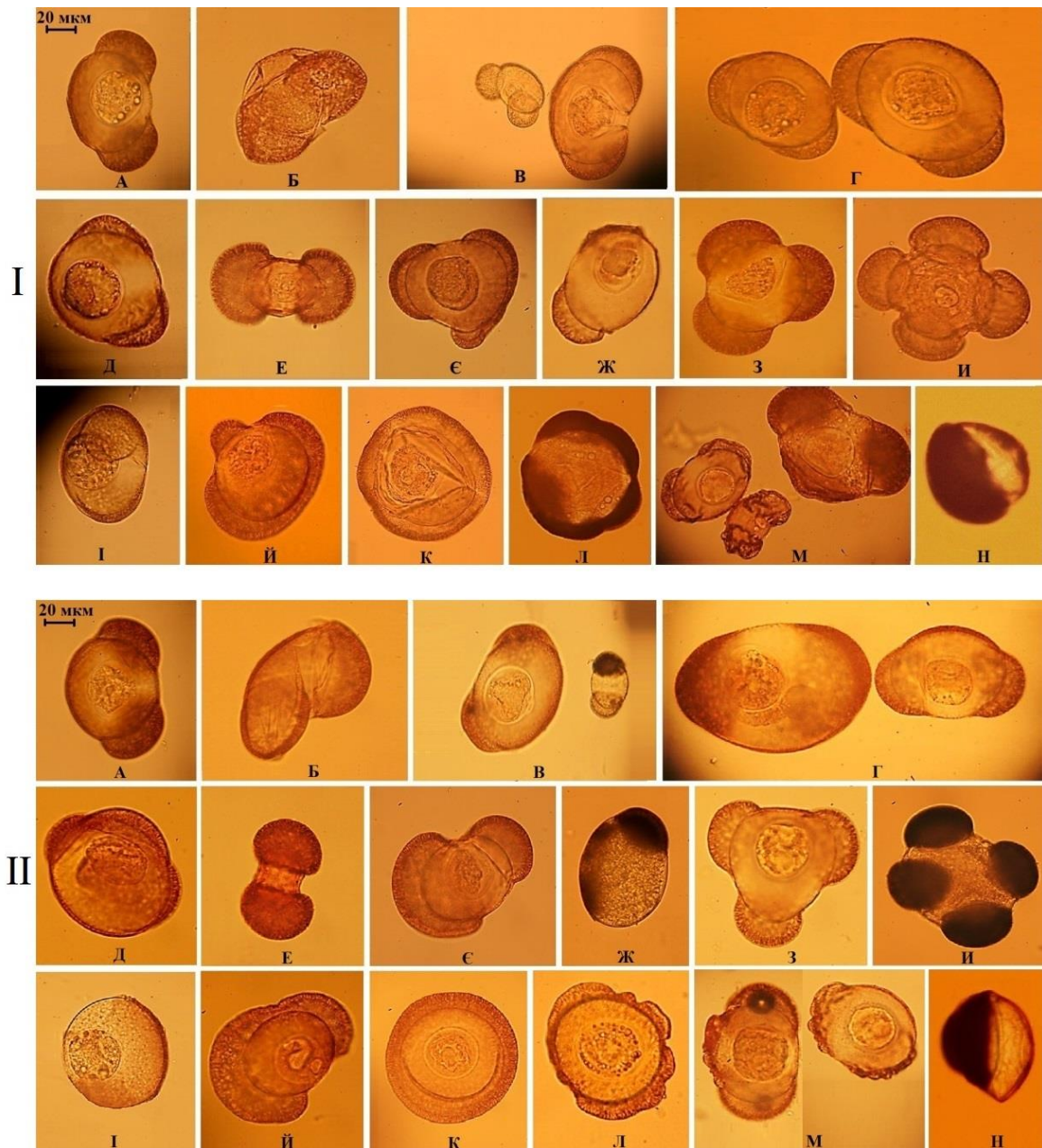


Рис. 7. Нормальний пилок (А) і пилок з аномаліями (Б–Н) у дерев *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з насаджень із різним рівнем аеротехногенного навантаження в умовах Кривого Рогу: А – нормальне пилокве зерно (п.з.), Б – недорозвинене п.з., В – “карликове” п.з., Г – “гігантське” п.з., Д – з малими повітряними мішками відносно тіла, Е – з великими повітряними мішками відносно тіла, Є – з різними розмірами мішків, Ж – з одним мішком, З – з трьома повітряними мішками, И – з чотирма повітряними мішками, І – без мішків, Й – мішки, які зрослися, К – пилок комірцевої форми, Л – пилок комірцевої форми у вигляді “бахроми”, М – “бахрома” замість тіла та повітряних мішків, Н – лінзоподібна форма.

П’ять типів аномалій виявлено й при пророщуванні пилку в лабораторних умовах (рис. 8). Відносна кількість цих аномалій була суттєво більшою у дерев *P. abies* (26,4–29,5%), що знаходяться під прямим впливом викидів промислових комбінатів, та *P. pungens* (15,4–21,5%), на які впливають вихлопні гази автотранспорту.

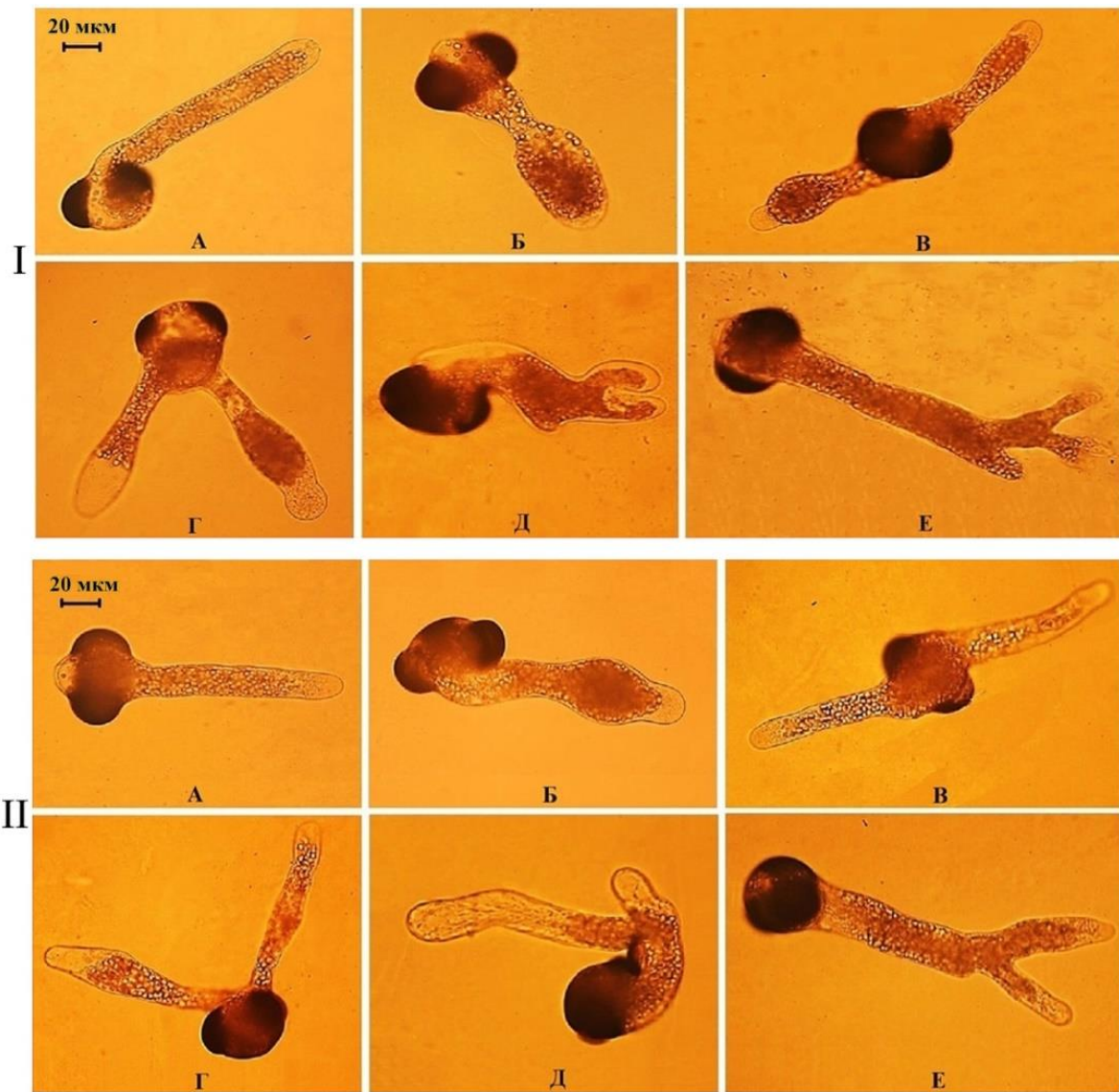


Рис. 8. Вигляд пилкових трубок при пророщуванні пилку в дерев *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з насаджень м. Кривий Ріг: А – нормальна; аномалії: Б – потовщення, В – дорсовентральне проростання пилку, Г – утворення двох трубок у дорсальній частині пилку, Д – викривлення, Е – розгалуження за типом “оленячі роги”

Таким чином, збільшення рівня аеротехногенного впливу призводить до зростання відносної кількості недорозвиненого, тератоморфного пилку та аномалій пилкових трубок при його пророщуванні. Все це може призвести до зменшення кількості повнозрілого насіння у рослин, що зазнають суттєвого впливу викидів промислових підприємств.

НАСІННЄВА ПРОДУКТИВНІСТЬ *P. ABIES* ТА *P. PUNGENS* ЗА УМОВ УРБОТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

За результатами досліджень встановлена середня врожайність шишок, яка достовірно відмінна між видами та складає 2,1–4,4 бали для рослин *P. abies* та 1,2–3,4 бали для *P. pungens*. Найкраща врожайність шишок – у рослин *P. abies* з насаджень контролю; це у 1,2 та 2,0 рази більше порівняно з деревами, що

зростають при помірному та високому рівні забруднення. У *P. pungens* ці показники є більшими у 1,4 та 2,6 рази відповідно. В умовах високого рівня забруднення у дерев *P. abies* та *P. pungens* спостерігалось зменшення кількості шишок та їх розмірів (довжини та ширини) на 14,9%, 8,4% та 16,7%, 9,3% менше, ніж у дерев з контролю.

Середній показник кількості лусок фертильного та стерильного шару в жіночій шишці у обох видів суттєво не відрізнявся та складав у всіх насадженнях від 100,8 до 117,7 шт та 53,1–57,7 шт. Загальна кількість насіння в одній шишці у *P. abies* та *P. pungens* у всіх типах насаджень в середньому коливалась від 203,9 до 217,2 шт та 198,6–204,3 шт відповідно. Найменша частка повнозрілого насіння (11,5–13,3%) та найбільша доля пусого (56,5–58,7%) і недорозвиненого (29,8–30,1%) була у рослин *P. pungens* за високого рівня промислових викидів, а у *P. abies* за тими ж показниками відповідно 20,2–22,5%; 51,5–52,6% та 26,0–27,2%. Значення коефіцієнта продуктивності у *P. abies* та *P. pungens* на всіх ділянках перебувало в межах 20,2–31,2% та 11,5–18,9% (рис. 9). На основі отриманого коефіцієнту можна стверджувати про невисокий ступінь реалізації потенційних можливостей видів щодо насінневого розмноження в умовах урбосередовища.

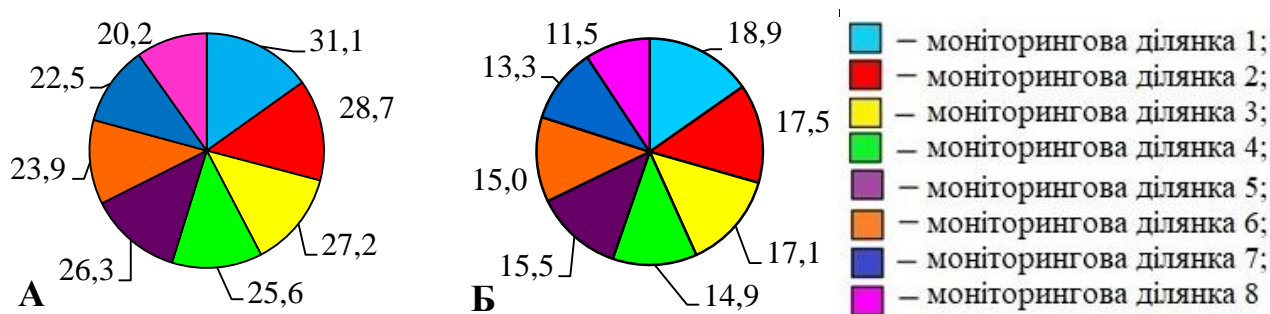


Рис. 9. Коефіцієнт продуктивності насіння *Picea abies* – А та *Picea pungens* –Б з різних типів насаджень Кривого Рогу

Встановлено, що показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння у *P. abies*, що зростають при високому рівні забруднення в середньому нижчі у 8,2 та 5,6 разів порівняно з рослинами контролю (табл. 3). А у *P. pungens* ці показники, відповідно, були меншими в 3,6 та 6,1 разів. Схожі значення були у рослин, що зростали в умовах помірною рівня забруднення. Вплив шкідливих викидів у надмірно високих дозах з промислових підприємств призводить до зменшення маси насіння у *P. abies* та *P. pungens* в середньому на 18,8% та 17,9% порівняно з контролем. Показники довжини проростка були більшими у *P. abies* з контрольного насадження, ніж у рослин, що зростають в умовах помірною та високого рівня забруднення в середньому на 20,9% та 28,9%. У *P. pungens* ці параметри зростають відповідно на 29,7%; 57,6%. Отже, зі зменшенням техногенного навантаження збільшується частка проростків насіння, що мають сім'ядолі на момент визначення схожості, що свідчить про їх більш ранній розвиток.

Посівні якості насіння рослин видів роду *Picea* з насаджень Кривого Рогу

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Маса 1000 шт насіння, г	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість, %	Довжина проростка (мм) за температури, 25°C
<i>Picea abies</i>					
Незначний	1	6,9±0,1	41,0±1,8	54,2±2,0	18,5±1,3
	2	6,5±0,1*	28,6±1,2**	39,2±2,1**	16,9±1,2*
	3	6,7±0,2	27,2±1,3**	36,8±2,1**	15,5±1,4
Помірний	4	6,2±0,2**	20,8±0,8***	29,8±1,5***	14,6±1,3*
	5	6,3±0,3**	23,6±1,2***	32,2±1,6***	15,2±1,3*
	6	6,0±0,2***	18,2±0,8***	23,8±1,1***	14,1±1,2*
Високий	7	5,8±0,1***	7,6±0,3***	14,2±0,6***	13,7±1,2*
	8	5,4±0,3***	2,4±0,1***	5,0±0,2***	12,6±0,7**
<i>Picea pungens</i>					
Незначний	1	4,2±0,1	7,2±0,4	20,6±0,5	13,8±0,4
	2	4,0±0,2	5,6±0,3*	13,8±0,2***	10,6±0,3**
	3	4,1±0,2	4,4±0,3**	10,2±0,6***	10,3±0,3**
Помірний	4	3,9±0,1*	5,0±0,3**	11,2±0,5***	9,9±0,3**
	5	3,7±0,2**	3,4±0,2***	7,4±0,2***	9,5±0,2***
	6	3,5±0,2***	3,8±0,2***	6,6±0,3***	8,4±0,3***
Високий	7	3,5±0,1***	2,6±0,2***	4,8±0,2***	6,3±0,2***
	8	3,4±0,1***	1,4±0,1***	2,0±0,1***	5,4±0,2***

Відмічено, що в умовах відкритого ґрунту схожість насіння у *P. abies* та *P. pungens*, сформованого за високого рівня промислових викидів, нижча у 6,7 та 7,4 разів порівняно з тим, що отримано у насадженнях контролю. Слід відмітити, що у *P. abies* з насаджень контролю ґрунтова схожість складала 39,3%, що у 5,4 разів більше, порівняно з *P. pungens* (7,3%). В умовах високого рівня забруднення значення цього показника у *P. abies* були вищими втричі, ніж у *P. pungens*.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИДІВ РОДУ *PICEA* НА ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЯХ

Показник комплексної декоративності у *P. abies* та *P. pungens* коливався в межах (2,3–4,8 та 2,9–4,9 бали), досягаючи максимуму на ділянках із незначним рівнем забруднення. Рослини *P. abies* та *P. pungens* рекомендовано широко використовувати в озелененні індустріальних міст степового Придніпров'я, за виключенням їх промислових зон. При озелененні доріг обидва види ялин слід висаджувати на відстані більше 10 м від автошляхів. Для дерев *P. abies* та *P. pungens* оптимальні умови зростання в локалітетах із незначним рівнем забруднення, але останній вид виявляє кращу стресотолерантність і при помірному рівні забруднення. Найдоцільніше їх залучати до озеленення скверів, парків, прибудинкових територіях, адміністративних будинків, шкіл, лікарень. Висаджуючи ялини, необхідно дотримуватись відстані між посадковим матеріалом 5–8 м, що виключає зімкнення крон, особливо при куртинному типі

посадки. Все це сприятиме активному росту та розвитку ялин у міських насадженнях в умовах степової зони України.

Проведені впродовж декількох років спостереження та дослідження насаджень *P. abies* та *P. pungens* підтвердили придатність їх до використання в якості індикаторів стану атмосферного повітря. Найчутливішими показниками щодо дії аерополютантів виявились ті, відмінності яких досягали перевищення у 1,5 і більше разів, порівняно з контрольними значеннями. А саме: на фізіолого-біохімічному рівні це співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до вмісту каротиноїдів у хвої; на анатомо-морфологічному – візуально виражені пошкодження (хлороз, некроз), а також кількість смоляних ходів у хвої. Серед показників репродуктивної здатності індикативну здатність мають частота аномалій пилку, а також показники енергії проростання та схожості насіння.

ВИСНОВКИ

Проведені комплексні дослідження з вивчення еколого-біологічних особливостей зростання видів роду *Picea* A. Dietr. у різних типах насаджень м. Кривий Ріг показали, що на розвиток рослин обох видів суттєво впливає сумарна дія антропогенних чинників індустриального міста, розташованого у Степовій зоні України, насамперед – надмірна кількість вихлопних газів автотранспорту та викидів промислових підприємств.

1. В ході проведеного дослідження виявлено, що в озеленені трьох адміністративних районів міста серед дерев роду *Picea* чисельно переважали представники *P. pungens* (разом із декоративними формами): 56,4%, при 43,6% екземплярів *P. abies*. Виявлено дерева обох видів віком від 10 до 50 років, серед яких найчисельнішою є вікова група 30–40 років.

2. За незначного рівня аеротехногенного забруднення (моніторингові ділянки 1, 2, 3) дерева *P. abies* та *P. pungens* у 30–40-річному віці добре розвинені (лише у деяких починає розвиватись сухoverшинність). Найнижчі показники життєвого стану властиві деревам обох видів, які зростають вздовж автомагістралей та біля промислових підприємств. У таких насадженнях збільшується кількість „сильно пошкоджених” та „відмираючих” дерев – у 2,3 та 1,7 разів порівняно з насадженнями контролю. Порушення нормального онтогенезу дерев 15–35-річного віку часто спричинюється невідповідною щодо потреб рослин технікою висадки великих і щільних куртин (10–46 особин з відстанню між саджанцями близько 0,5 м). Особливо помітним сповільнення темпів росту і розвитку є у рослин, які ростуть в центрі куртини.

3. Негативний вплив аеротехногенного забруднення призводить до зменшення анатомо-морфологічних параметрів хвої, розмірів пагону та кількості хвоїнок на ньому, показників товщини епідерми, гіподерми, кількості смоляних ходів і їх діаметру (величина зменшення по окремих показниках становить від 7,1% до 43,4%). За дії найвищого рівня аеротехногенного забруднення відбувається пошкодження та всихання хвої (некроз, хлороз) у 2,5 рази частіше порівняно з контрольною ділянкою. Потовщення ендодерми та збільшення діаметру центрального провідного циліндра хвої у *P. pungens*, на відміну від *P. abies*, у хвої якої ці показники зменшуються під впливом забруднювачів,

свідчить про кращу адаптаційну здатність першого виду та його стійкість до техногенного впливу.

4. Вміст хлорофілу *a* у хвої *P. abies* та *P. pungens* на всіх ділянках з травня по вересень знижується до рівня 27,2% та 25,0% відповідно та хлорофілу *b* до 17,9% та 20,0% відповідно порівняно з контролем. Водночас вміст каротиноїдів збільшується до 26,1% та 24,0%, а показники відношення суми хлорофілів *a* та *b* до кількості каротиноїдів у хвої обох видів, навпаки, зменшувались до 37,6% та 40,3%. На всіх моніторингових ділянках у хвої *P. pungens* відмічений вищий рівень вмісту фотосинтетичних пігментів, ніж у *P. abies*.

5. Кількість крохмалю у пилкових зернах рослин обох видів роду *Picea* зменшується майже вдвічі в насадженнях біля промислових комбінатів, порівняно з його вмістом у пилку дерев насаджень контрольної ділянки. У рослин обох видів виявлено по вісім типів аномалій пилку в насадженнях контролю і по 13 типів у рослин, що зростають в умовах високого рівня забруднення. Найбільша частка аномального пилку, як і найширший спектр аномалій, виявлені в дерев *P. abies* та *P. pungens* біля промислових підприємств – у 3,6 разів більше, ніж у рослин з насаджень ботанічного саду. Нижчі показники фертильності й життєздатності пилку у *P. abies* (у межах 46,5–83,8 та 48,3–75,3%), порівняно з *P. pungens* (48,9–86,8 та 54,3–78,6%), свідчать про більшу вразливість чоловічої генеративної сфери ялини звичайної щодо аеротоксикантів.

6. Коефіцієнт продуктивності є вищим у дерев *P. abies* (20,2–31,2%), ніж у *P. pungens* (11,5–18,9%) на всіх моніторингових ділянках. Показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння знижуються при зростанні рівня забруднення в обох видів ялин. У *P. abies* вони в середньому нижчі у 8,2 та 5,6 разів порівняно з рослинами контролю, у *P. pungens* – у 3,6 та 6,1 разів.

7. За результатами досліджень комплексний показник декоративності *P. abies* та *P. pungens* в умовах промислового міста впродовж року варіює від 2,6 до 4,9 балів. Декоративність насаджень збільшується в міру віддалення їх від джерел забруднення. В цілому, обидва види ялин можуть активно застосовуватись в озелененні індустріальних міст степового Придніпров'я; недоцільною є лише висадка їх у промислових зонах потужних підприємств гірничо-металургійної галузі.

8. Інформативний зміст для біоіндикації стану атмосферного повітря мають такі анатомо-морфологічні та біохімічні показники життєдіяльності рослин *P. abies* та *P. pungens*, які мають відмінності від контролю у півтори рази і більше. Ранніми проявами стресового стану рослин під дією забруднення є зміни співвідношення вмісту суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів. При пролонгованій дії аеротоксикантів доцільно використовувати відсоткові показники хлорозу та некрозу хвої щодо контролю. Прогноз життєвого стану насадження можливо надати за результатами досліджень кількості смоляних ходів, частоти аномалій пилку, а також розрахунками енергії проростання і схожості насіння.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

1. **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 Scopus, Web of Science (Biological Abstracts, BIOSIS Previews, Zoological Records), Index Copernicus.**
2. Коршиков І.І., Гусейнова (Федорчак) Е.Р. Особливості пилку рослин *Picea abies* та *P. pungens* (*Pinaceae*) в насадженнях на території Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*. 2018. № 75 (5). С. 446–456. **Doi: 10.15407/ukrbotj75.05.446 Index Copernicus, Thomson Reuters, Google Scholar, Research Gate, Web of Science (Zoological Records).** (Особистий внесок: збір та обробка матеріалу, аналіз даних, оформлення матеріалів для публікації).
3. **Федорчак Е.Р.** Вміст пігментів в хвої *Picea abies* і *Picea pungens* в умовах промислового м. Кривий Ріг. *Екологічні науки*. 2020. № 1 (28). С. 283–289. **Doi: 10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.45 Index Copernicus International.**

Публікації у наукових фахових виданнях України:

4. Коршиков І.І., Гусейнова (Федорчак) Е.Р. Життєздатність *Picea abies* у м. Кривий Ріг Степової зони України. *Інтродукція рослин*. 2016. № 2 (74). С. 60–67. **Google Scholar.** (Особистий внесок: збір та обробка матеріалу, аналіз та узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).
5. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І.** Характеристика пилку *Picea abies* в насадженнях Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2017. № 4 (76). С. 56–62. **Google Scholar.** (Особистий внесок: збір фактичного матеріалу, проведення лабораторних аналізів, оформлення матеріалів для публікації).
6. Шевчук Н.Ю., **Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І.** Розповсюдженість та життєздатність трьох представників роду *Picea* A. Dietr. у пришляхових насадженнях м. Кривого Рогу. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3 (79). С. 75–82. **Google Scholar.** (Особистий внесок: збір та обробка матеріалу, аналіз та узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).
7. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Насіннева продуктивність та якість насіння *Picea abies* та *P. pungens* в насадженнях Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2018. Вип. 47. С. 19–28.
8. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Зміни окрасу і вмісту фотосинтетичних пігментів у хвої *Picea pungens* Engelm. в умовах міських насаджень. *Інтродукція рослин*. 2019. № 1 (81). С. 82–89. **Google Scholar.** (Особистий внесок: збір та обробка матеріалу, аналіз та узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації).

Список публікацій, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:

9. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Представники роду *Picea* Dietr., як перспективний об'єкт дослідження в техногенному регіоні. *Молодь і поступ біології: збірник тез XII Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів, 19–21 квітня 2016 р.* Львів, 2016. С. 150–152.
10. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Перспективи дослідження родового комплексу *Picea Dietr.*, у зелених насадженнях м. Кривого Рогу. *Сучасні тенденції*

збереження, відновлення та збагачення фіторізноманіття ботанічних садів і дендропарків: матеріали Міжнар. конф., присвяченої до 70-річчя дендрологічного парку «Олександрія», як наукової установи НАН України, 23–25 травня 2016 р. Біла церква, 2016. С. 118–120.

11. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Життєвий стан деревних насаджень видів роду *Picea* Dietr., в м. Кривого Рогу. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України*: матеріали Міжнародної наукової конференції, 25–27 жовтня 2016 р. Дніпро, 2016. С. 20.

12. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Якість пилюки *Picea abies* (L.) Karst. в насадженнях Криворіжжя. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали Міжнародної конференції молодих вчених, 5–10 вересня 2017 р. Луцьк, 2017. С. 98.

13. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Життєздатність *Picea abies* (L.) Karst. в урбанізованому середовищі міста Кривий Ріг. *«Рослини та урбанізація»*: матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції, 1–2 березня 2017 р. Дніпро, 2017. С. 43–45.

14. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.**, Красноштан О.В., Артюшенко О.М. Стан хвойних в насадженнях м. Кривий Ріг. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін*: зб. ст. Міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В.І. Липського ОНУ ім. І.І. Мечникова, 19–21 вересня 2017 р. Одеса, 2017. С. 77–80. (*Особистий внесок: частковий збір та обробка матеріалу, аналіз та узагальнення даних, оформлення матеріалів для публікації*).

15. **Huseinova (Fedorchak) E.R.** Viability of *Picea pungens* f. *glauca* in the kurtin type of Kriviy Rih plantations. “*Applied biotechnology in mining*”: workshop Agenda International Conference, 25–27 April 2018. Dnipro, 2018. P. 54.

16. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.** Репродуктивна сфера *Picea abies* та *P. pungens* ‘*Glauca*’ в насадженнях м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених, 2–5 вересня 2018 р. Кирилівка, 2018. С. 42.

17. **Гусейнова (Федорчак) Е.Р.**, Коршиков І.І. Біоекологічні особливості *Picea abies* та *P. pungens* ‘*Glauca*’ в насадженнях Кривого Рогу. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття у ботанічних садах Східної Європи*: матеріали науково-практичної конференції, 22–24 травня 2019 р. Київ, 2019. С. 22–23.

18. **Федорчак Е.Р.** Потенційна та фактична насіннева продуктивність *Picea abies* та *P. pungens* ‘*Glauca*’ в насадженнях м. Кривий Ріг. *«Актуальні проблеми ботаніки та екології»*: міжнародна конференція молодих учених, 6–9 вересня 2019 р. Харків, 2019. С. 46.

19. **Федорчак Е.Р.** Біоіндикація рівня забруднення за реакцією асиміляційного апарату *Picea abies* та *Picea pungens* в умовах Криворіжжя. *«Пріоритетні напрямки дослідження Голонасінних у сучасних умовах»*: міжнародна наукова конференція, 21–22 жовтня 2020 р. Біла Церква, 2020. С. 140–142.

АНОТАЦІЯ

Федорчак Е. Р. Еколого-біологічні особливості видів роду *Picea* A. Dietr. в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Дисертацію присвячено комплексному вивченню еколого-біологічних особливостей зростання ялини звичайної *Picea abies* (L.) Karst. та ялини колючої *Picea pungens* Engelm. за дії різнорівневого забруднення в умовах промислового м. Кривий Ріг, розташованого у степовій зоні України. Досліджено біометричні параметри та життєвий стан 30–40-річних дерев *P. abies* та *P. pungens* в умовах урботехногенного середовища, а також оцінено життєздатність рослин в куртинному типі посадки. Виявлені адаптивні реакції рослин на техногенний стрес за анатомо-морфологічними та фізіологічними характеристиками хвої ялин. Досліджено репродуктивну здатність *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу. Оцінено перспективи використання видів роду *Picea* в урботехногенних умовах та визначено інформативні показники для біоіндикації забруднення середовища аерополітантами.

Ключові слова: *Picea abies*, *P. pungens*, урботехногенні умови, біометричні показники, фертильність пилку, анатомо-морфологічні параметри, фотосинтетичні пігменти, насіннева продуктивність.

АННОТАЦИЯ

Федорчак Э. Р. Эколого-биологические особенности видов рода *Picea* A. Dietr. в урботехногенных условиях г. Кривой Рог – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 – экология. Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2021.

Диссертация посвящена комплексному изучению эколого-биологических особенностей роста ели обыкновенной *Picea abies* (L.) Karst. и ели колючей *Picea pungens* Engelm. при воздействии разноуровневого загрязнения в условиях промышленного г. Кривой Рог, расположенного в степной зоне Украины. Исследованы биометрические параметры и жизненное состояние 30–40-летних деревьев *P. abies* и *P. pungens* в условиях урботехногенной среды, а также оценена жизнеспособность растений в куртинном типе посадки. Выявлены адаптивные реакции растений на техногенный стресс на примере анатомо-морфологических и физиологических характеристик хвои елей. Исследована репродуктивная способность *P. abies* и *P. pungens* в насаждениях с разным уровнем аеротехногенного воздействия. Оценены перспективы использования видов рода *Picea* в урботехногенных условиях и определены наиболее информативные показатели для биоиндикации загрязнения среды аерополітантами.

Ключевые слова: *Picea abies*, *P. pungens*, урботехногенные условия, биометрические показатели, фертильность пыльцы, анатомо-морфологические параметры, фотосинтетические пигменты, семенная продуктивность.

– **ABSTRACT**

– **Fedorchak E. R. Ecological and biological features of species of the family *Picea* A. Dietr. in urban man-made ecotopes of Kryvyi Rih city – Qualification scientific work on the rights of manuscripts.**

– Thesis for a candidate degree in biological sciences, specialty 03.00.16 - ecology. Dnipro National University named after Oles Honchar, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the complex study of ecological-biological features of growth of *Picea abies* (L.) Karst. and *Picea pungens* Engelm. under the action of multilevel pollution in the industrial city of Kryvyi Rih in the steppe zone of Ukraine. We ascertained that 34–38-year-old plants on the local levels of aerotechnogenic pollution (arboretum of botanical garden, parks) the trees *P. abies* and *P. pungens* were well developed (their average height was 13.6–14.8 m and 10.3–12.1 m, trunk diameter – 24.8–26.7 cm and 24.4–25.9 cm respectively), and only in some of them does develop dieback. The growth of trees of the same by at a high level near smelters is suppressed (h = 9.8–10.9 m, D = 20.3–22.1 cm and h = 8.5–8.7 m, D = 21.2–22.9 cm respectively), as well such trees have damages and dieback (53.4% and 42.6%). One of the most common types of plantings are curtain plantations of *P. abies* (0.5–4 m between plants) cause 15–35-year-old trees in the center of the curtain to inhibition. This is manifested in a decrease in biometric characteristics in the center of the curtain, since the trees there are lower in height, with a thin trunk, less covered needles, with a deformed crown, some of them are old deadwood.

It is shown that the state of assimilation organs in plants of *P. abies* and *P. pungens* in these plantations with excessive industrial pressure and the intensity of motor transport emissions is suppressed. This causes a decrease of anatomical and morphological parameters of needles varied between 7.1–43.4% (especially on the length of the needles and the length of the shoot, central conductor cylinder, strokes and their diameter). However, regarding the thickness of the endoderm and indices of the central conductor cylinder in *P. pungens* under conditions of urban environment, we observed an increase in contrast to *P. abies*, which can be explained as the adaptive response of plants to technogenic stress.

For the needles of *P. abies* and *P. pungens* from all the sites, we noticed the decreasing content of chlorophyll *a* to the level 0.58 mg/g of crude substance and 1.03 mg/g of crude substance and chlorophyll *b* to 0.29 mg/g of crude substance and 0.33 mg/g of crude substance respectively from May till September, at all monitoring sites. At the same time, the concentration of carotene substances increases to the level of 0.34 mg/g of crude substance, which provides a protected function in photosynthesis reactions.

During the research, we showed negative influence of the exhaust gases of motor vehicles and, especially, the emissions of the major industrial enterprises of Kryvyi Rih on the viability and fertility of the pollen and the development of its anomalies in

P. abies and *P. pungens*. The maximum length of pollen grains (113.0 and 118.5 microns), the highest viability (75.3 and 78.6%), fertilising pollen (83.8 and 86.8%), the relative lowest number of its anomalies (9.0 and 9.2%) were noticed respectively in plants of *P. abies* and *P. pungens* from plantation of the botanical garden. The minimum dimensions of the pollen in both of these species (respectively 91.5 and 101.7 μm), the lowest viability (48.3 and 54.3%), fertilising pollen (46.5 and 48.9%) and the largest number of anomalies (35.9 and 33.6%) were noticed for trees that were under the highest emissions of industrial combines.

Eight types of pollen anomalies in *P. abies* and *P. pungens* were ascertained in the plantation of the botanical garden and 13 types of plants of both species that grow near the industrial combines.

The productivity coefficient in *P. abies* and *P. pungens* under conditions of different levels of pollution varied between 20.2–31.2% and 11.5–18.9%. It was found that the indicators of germination energy and laboratory germination of *P. abies* tree seeds, which grow in conditions of high levels of pollution, are on average 8.2 and 5.6 times lower compared to the control. And in *P. pungens*, these values were 3.6 and 6.1 times lower, respectively.

In the course of research, the indicator of complex decorativeness in *P. abies* and *P. pungens* plants ranged between 2.3–4.8 and 2.9–4.9 points, reaching a maximum in areas with a low level of pollution. When comparing the species *P. abies* and *P. pungens*, it was found that the latter in most cases shows better decorativeness and resistance to adverse conditions of urban man-made ecotopes than *P. abies*. Thus, the variation of biometric characteristics, changes in anatomical and morphometric parameters, the value of pigment content and reproductive capacity shows the potential for the existence and development of plants of the genus *Picea* in urban environments under conditions of varying levels of pollution. The high sensitivity of the assimilative and generative organs of these plants to changes in the level of air pollution makes it possible to use a number of indicators of their vital activity as year-round bioindicators.

Keywords: *Picea abies*, *P. pungens*, urban conditions, biometric parameters, fertility of pollen, anatomically-morphic parameters, photosynthetic pigments, seed productivity.

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. 096-062-31-80