

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФЕДОРЧАК ЕЛЬВІРА РАФІКІВНА

УДК 582.475.4:581.15:581.5 (477.63)

ДИСЕРТАЦІЯ

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

03.00.16–екологія

Біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук

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

_____ Е. Р. Федорчак

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник:

Коршиков Іван Іванович,

доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2021

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 степової зони України. Задля репрезентативного охоплення м. Кривий Ріг моніторингові ділянки розташовувались з північного сходу на південний захід по довжині міста з різним рівнем аеротехногенного впливу. Це насадження, які зазнають надмірного впливу викидів промислових комбінатів (моніторингова ділянка № 8 – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та моніторингова ділянка № 7 – ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»); наступні три знаходяться в умовах помірного рівня забруднення біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху: (моніторингова ділянка № 6 – проспект Металургів, моніторингова ділянка № 5 – по вул. Ватутіна, моніторингова ділянка № 4 – по вул. Черкасова); останні три зазнають незначного рівня забруднення (моніторингова ділянка № 3 – парк Героїв АТО, моніторингова ділянка № 2 – парк Шахтарський, моніторингова ділянка – № 1 дендрарій Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС). Умовним контролем слугували насадження обох видів ялин в дендрарії КБС.

В ході проведеного дослідження виявлено, що в озеленені міста більш поширеним є вид *P. pungens* та його форми (56,4%), ніж *P. abies* (43,6%). Відмічено, що вік дерев обох видів від 10 до 50 років, найчисленнішою є вікова група 30–40 років.

Досліджено еколого-біологічні особливості дерев *P. abies* та *P. pungens* у насадженнях м. Кривий Ріг. Встановлено, що 34–38-річні рослини на локальному рівні аеротехногенного забруднення (моніторингові ділянки 1; 2; 3) добре розвинені ($h = 13,6\text{--}14,8$ м, $D = 24,8\text{--}26,7$ см та $h = 10,3\text{--}12,1$ м, $D = 24,4\text{--}25,9$ см відповідно), і лише в окремих із них починає розвиватись суховершинність. Дерева такого ж віку, що ростуть за високого рівня промислових викидів (моніторингові ділянки 7; 8), пригнічені в рості ($h = 9,8\text{--}10,9$ м, $D = 20,3\text{--}22,1$ см та $h = 8,5\text{--}8,7$ м, $D = 21,2\text{--}22,9$ см), пошкоджені й суховершинні (53,4% та 42,6%). Менше таких дерев (34,2% та 28,1%) траплялось у насадженнях при помірному рівні забруднення. Одним із найпоширеніших типів насаджень у місті є куртини. Загущені посадки *P. abies* та *P. pungens* (розміщені 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 в центрі куртин, оскільки дерева там нижчого зросту, з тонким стовбуром, менш охоєні, з деформованою кроною, деякі з них – сухостійні.

Виявлено, що стан асиміляційних органів рослин *P. abies* та *P. pungens* погіршується в насадженнях при помірному та високому рівні забруднення. Це спричинює зменшення як морфометричних характеристик (довжини, ширини, товщини хвої, периметру поперечного перетину, площі поверхні хвої та довжини пагона), так і анатомічних параметрів (товщини епідерми, гіподерми, ендодерми, діаметру центрального провідного циліндра (ЦПЦ), кількості смоляних ходів та їх діаметру). Однак, щодо товщини ендодерми та показника діаметру ЦПЦ у *P. pungens* в умовах урботехногенних територій, нами відмічено збільшення на відміну від *P. abies*, що можна пояснити як адаптивну реакцію ялин на техногенний стрес. Встановлено, що з підвищенням рівня забруднення в обох видів ялини довжина пагону та тривалість життя хвої на ньому зменшується в 1,6 та 1,4 рази відповідно, що супроводжується погіршенням декоративності рослин. При цьому зростає кількість хвої на пагоні в 1,3 рази порівняно з контролем, що є адаптивною

реакцією на несприятливі умови середовища. Виявлено, що на градієнті наближення *P. abies* та *P. pungens* до автотранспортних доріг та проммайданчиків спостерігається підвищення ступеня пошкодження та всихання хвої (некроз, хлороз) у 2,5 та 2,4 рази відповідно порівняно з рослинами за незначного рівня забруднення. Відмічено, що техногенний вплив знижує показники абсолютно сухої маси хвої у *P. abies* та *P. pungens* у 1,7 та 1,6 рази порівняно з контролем. Дослідженнями підтверджено, що за дією викидів великих промислових підприємств та вихлопних газів автотранспорту знижуються анатомо-морфометричні показники 2-річної хвої та пагонів другого порядку рослин *P. abies* та *P. pungens*, проте у останніх виявлено анатомічні зміни адаптаційного характеру.

Показано динаміку вмісту хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів у хвої протягом вегетаційного періоду 2017 року. 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 сирої речовини та 1,03 мг/г сирої речовини відповідно та хлорофілу *b* знижується до 0,29 мг/г сирої речовини та 0,33 мг/г сирої речовини відповідно. Водночас концентрація каротиноїдів, які виконують захисну функцію в реакціях фотосинтезу, збільшується до рівня 0,34 мг/г сирої 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. Доведено, що найпотужнішого негативного впливу зазнають насадження ялин при помірному та високому рівні забруднення, в хвої яких спостерігали появу мінімальних показників вмісту пігментів.

У ході досліджень показано негативний вплив вихлопних газів автотранспорту і, особливо, викидів великих промислових підприємств Криворіжжя на життєздатність і фертильність пилку та розвиток його аномалій у рослин *P. abies* та *P. pungens*. Максимальні розміри довжини

пилкових зерен (113,0 та 118,5 мкм), найвища життєздатність (75,3 та 78,6%) і фертильність пилку (83,8 та 86,8%) відмічені відповідно у рослин *P. abies* та *P. pungens* з насаджень контролю. Мінімальні показники довжини пилку в обох видів (відповідно 91,5 і 101,7 мкм), найнижча життєздатність (48,3 та 54,3%) та фертильність пилку (46,5 та 48,9%) встановлені для дерев, що зазнають надмірного впливу викидів промислових комбінатів.

Встановлено вісім типів аномалій пилку в рослин обох видів з насаджень контролю і 13 типів у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростають за умов високого рівня забруднення. Вихлопні гази автотранспорту також негативно впливають на якість пилку обох видів, частка аномального пилку в *P. abies* становила 17,4–24,7%, а у *P. pungens* 13,7–25,1%. Навіть у паркових насадженнях міста рівень аномального пилку був вищим, ніж у рослин з дендрарію ботанічного саду. П'ять типів аномалій виявлено й при пророщуванні пилку в лабораторних умовах. 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. Дослідженнями підтверджено, що чоловіча генеративна сфера у *P. abies* більш чутлива до впливу урботехногенного середовища, ніж у *P. pungens*, про що свідчить низький відсоток фертильності та життєздатності пилку та більша кількість його аномалій.

Виявлено несприятливий вплив аерополітантів на формування і розвиток морфологічних показників шишок *P. abies* та *P. pungens*, який проявляється у зниженні показників врожайності шишок у 2,0 та 2,6 рази порівняно з деревами, що зростають в контролі. Встановлено достовірне зниження показників довжини і ширини шишки в межах 8,4–16,7% порівняно з рослинами за незначного рівня забруднення. Відмічено регулярне формування у жіночих шишках повних насінин, що свідчить про їх високий репродукційний потенціал. 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 частка пустого (56,5–58,7%) і недорозвиненого (29,8–30,1%) була у рослин *P. pungens*, що підпадають під прямий вплив викидів промислових підприємств, а у *P. abies* за тими ж показниками відповідно 20,2–22,5%; 51,5–52,6% та 26,0–27,2%. Коефіцієнт продуктивності у *P. abies* та *P. pungens* за умов різнорівневого забруднення варіював у межах 20,2–31,2% та 11,5–18,9%. Встановлено, що показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння дерев *P. abies*, що зростають в умовах високого рівня забруднення, в середньому нижчі у 8,2 та 5,6 разів порівняно з контролем. А у *P. pungens* ці показники, відповідно, були меншими у 3,6 та 6,1 разів. Схожі значення були у рослин обох видів, що зазнають помірного забруднення. Зі збільшенням рівня аерополітантів зменшуються показники маси насіння у *P. abies* та *P. pungens* в середньому на 18,8% та 17,9% порівняно з контролем. Відмічено, що в умовах відкритого ґрунту схожість насіння у *P. abies* та *P. pungens* за високого рівня промислових викидів нижча у 6,7 та 7,4 разів порівняно з контролем. Отже, зі зменшенням техногенного навантаження збільшується частка проростків насіння, які мають сім'ядолі на момент визначення схожості, що свідчить про їх більш ранній розвиток.

В ході досліджень показник комплексної декоративності у рослин *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. При порівнянні видів *P. abies* та *P. pungens* виявлено, що останній у більшості випадків проявляє кращу декоративність та стійкість до несприятливих умов урботехногенних екотопів, ніж *P. abies*. Таким чином, за варіюванням біометричних характеристик, змінами анатомо-морфометричних показників, величиною вмісту пігментів та репродуктивної здатності показано потенційні можливості існування і розвитку рослин роду *Picea* в урбосередовищі за умов різнорівневого забруднення. Висока чутливість асимілятивних та генеративних органів цих рослин до змін рівня забруднення повітряного

середовища надає можливості використовувати ряд показників їх життєдіяльності як цілорічно доступні біоіндикатори.

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

SUMMARY

Fedorchak E.R. Ecological-biological features of species of the genus *Picea* A. Dietr. in urban conditions 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. For the purpose of representative coverage of the city of Kryvyi Rih, the monitoring sites were located from northeast to southwest along the length of the city with different levels of aerotechnogenic impact. These are plantations that are excessively affected by emissions from industrial plants (monitoring site № 8 – near Public JSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” and monitoring site № 7 – Private JSC 'Northern Ore Dressing Works'); the following three are in conditions of moderate pollution near the carriageway with high traffic intensity: (monitoring area № 6 – Metallurgists Avenue, monitoring area № 5 – on Vatutina Street, monitoring area № 4 – on Cherkasova Street); the last three are subject to insignificant levels of pollution (monitoring site № 3 – Antiterrorist Operation Heroes' Park, monitoring site № 2 – Miners Park, monitoring site – № 1 the arboretum of the Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (KRBG). As a control site, we used the plantings of both species of spruces in the arboretum of KRBG.

During the research, we showed that in the greening of the city more common species of *P. pungens* and its shapes (56.8%) than *P. abies* (43.2%). It is noted that trees of both species are between 10 and 50 years old, among which the largest is the age group the 30–40 age.

We investigated ecological-biological features of *P. abies* and *P. pungens* trees in the plantations of Kryvyi Rih. 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%). Fewer such trees (34.2% and 28.1% are occurred in plants near the city roads with high motor traffic. 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 morphometric characteristics (length, width, thickness of the needles, the perimeter of the cross-section and the area of its surface and the length of the shoot), and anatomical parameters (thickness of the epidermis, hypodermis, endoderm, central conductor cylinder, strokes and their diameter) for both species. 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. It is ascertained that with increase of the level of contamination in both species of spruce, the number of needles on the shoot increases 1.3 times as compared to the control. The length of the shoot and the duration of the needles on it decreases by 1.6 and 1.4 times, respectively, which is accompanied by a deterioration of the ornamental plants. This increases the number of needles on the shoot by 1.3 times compared to the control, which is an adaptive response to adverse environmental conditions. We found that the gradient

of approaching of *P. abies* and *P. pungens* to motor roads and industrial sites shows an increase in the degree of damage and shrinkage of needles (necrosis, chlorosis) by 2.5 and 2.4 times, respectively, compared to plants in relatively clean areas. It is noted that the technogenic influence reduces the indices of completely dry needles in *P. abies* and *P. pungens* by 1.7 and 1.6 times less compared to the control. Studies have confirmed that emissions from large industrial enterprises and vehicle exhausts suppress anatomical-morphometric indices of 2-year-old needles and shoots of second-order of plants *P. abies* and *P. pungens*, but the latter exhibits anatomical changes of adaptive nature.

The article shows the content changes for chlorophylls *a* and *b* as well as carotenoids in the needles during five months of growing season of year 2017. 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. In the conditions of intensive technogenic pressure in *P. abies* and *P. pungens* during the period of researches, we ascertained the decrease in the indicators of the sum of chlorophylls ($a+b$), the ratio (a/b), the ratio of the sum of chlorophylls ($a+b$)/car. compared to plants growing under conditions of low pollution. It is proved that the most powerful negative impact is indicated by the change of spruce in size and high level of pollution, in each of which there is the appearance of minimal pigment content.

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 exhaust gases of vehicles also negatively effect on the quality of pollen of both species; the share of anomalous pollen in *P. abies* was 17.4–24.7%, and *P. pungens* 13.7–25.1% and, even in the park plantations of the city, the level of anomalous pollen was significantly higher than in the arboretum of the botanical garden. Five types of anomalies were also detected in the germination of pollen under laboratory conditions and the relative number of these anomalies was considerably higher in plants of *P. abies* (26.4–29.5%), which were directly exposed to the emissions of industrial combines and in ones of *P. pungens* (15.4–21.5%), which were influenced by the exhaust gases. Our investigation ascertained that male generative sphere of *P. abies* is more sensitive to influence of urbotechnogenic environment than one of *P. pungens*; it is confirmed by low percentage of pollen fertility and viability as well as higher quantity of its anomalies.

We adversed the effect of aeropollutants on the formation and development of morphological parameters of *P. abies* and *P. pungens* cones was revealed, which is manifested by a decrease in the safety yield indicators of cones by 2.0 and 2.6 times compared to trees growing in the control. There was a significant decrease in the length and width of the cones in the range of 8.4–16.7% compared to plants with a low level of contamination. There is a regular formation of full seeds in female cones, which indicates their high reproductive potential. The general seed quantity for a cone of *P. abies* та *P. pungens*, in all the plantation types, varied from 203.9 to 217.2 seeds and from 198.6 to 204.3 ones respectively. The least part of fertile seeds (11.5–13.3%), and the biggest part of sterile (56.5–

58.7%) and underdeveloped (29.8–30.1%) ones were noted in the plants of *P. pungens* directly exposed to emissions of industrial enterprises; for the plants of *P. abies* the same indices were 20.2–22.5%; 51.5–52.6% та 26.0–27.2% respectively. 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. Similar values were found in plants of both species that are moderately polluted. As the level of air pollutants increases, the seed mass in *P. abies* and *P. pungens* decreases by an average of 18.8% and 17.9% compared to the control. It was noted that in the open ground the seed germination in *P. abies* and *P. pungens* at high levels of industrial emissions is 6.7 and 7.4 times lower compared to the control. Thus, with the decrease of man-caused load, the share of seed seedlings having cotyledons at the time of determining germination increases, which indicates their earlier development.

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.

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати 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 пилку *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* 'Glausa' 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.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ НА РОСЛИНИ В м. КРИВИЙ РІГ.....	26
1.1. Екологічний стан та джерела надходження забруднюючих речовин в екосистему міста.....	26
1.2. Вплив аерополітантів та кліматичних факторів на хвойні рослини урбосередовищі.....	33
1.3. Роль хвойних в оптимізації та біомоніторингу стану урботехногенного середовища.....	38
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОБ'ЄКТІВ ТА МЕТОДІВ.....	44
2.1. Фізико-географічна характеристика території м. Кривий Ріг.....	44
2.2. Характеристика гідротермічних умов у період проведення досліджень.....	48
2.3. Характеристика моніторингових ділянок.....	51
2.4. Об'єкти досліджень	58
2.5. Методи досліджень.....	61
РОЗДІЛ 3. РОЗПОВСЮДЖЕНІСТЬ, ВІК І ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ ВИДІВ РОДУ <i>PICEA</i> В УРБОТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ КРИВОГО РОГУ.....	69
3.1. Поширення і вік насаджень <i>P. abies</i> та <i>P. pungens</i> у різних районах міста Кривий Ріг.....	69
3.2. Біометрична характеристика та життєвий стан рослин в умовах урбосередовища.....	74
3.3. Життєздатність дерев у куртинному типі посадки.....	80

РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ ВИДІВ РОДУ <i>PICEA</i> ЗА УМОВ РІЗНОРІВНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	89
4.1. Характеристика основних анатомо-морфологічних параметрів хвої	89
4.2. Пігментний апарат рослин і його особливості в залежності від умов зростання.....	100
4.3. Зміна вмісту каротиноїдів в хвої як показник стану аеротехногенного середовища.....	108
РОЗДІЛ 5. ОСОБЛИВОСТІ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ РЕПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ВИДІВ РОДУ <i>PICEA</i> В УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ.....	114
5.1. Морфометричні показники пилку, фертильність та його життєздатність у видів роду <i>Picea</i> за дії аерополітантів	114
5.2. Аномалії пилкових зерен в насадженнях, що зазнають різнорівневого аеротехногенного впливу.....	120
РОЗДІЛ 6. НАСІННЕВА ПРОДУКТИВНІСТЬ <i>P. ABIES</i> ТА <i>P. PUNGENS</i> ЗА УМОВ УРБОТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ.....	128
6.1. Врожайність шишок і насіннева продуктивність рослин в урботехногенному середовищі.....	128
6.2. Якість насіння видів роду <i>Picea</i> за умов різнорівневого забруднення.....	135
6.3. Вирощування саджанців з насіння місцевої репродукції.....	139
РОЗДІЛ 7. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИДІВ РОДУ <i>PICEA</i> НА ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЯХ.....	143

7.1. Декоративні властивості видів роду <i>Picea</i> та особливості використання цих видів у зеленому будівництві промислових міст степової зони.....	143
7.2. Фітоіндикація аеротехногенних впливів за характеристиками хвойних рослин.....	147
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	154
ДОДАТОК А.....	193
ДОДАТОК Б.....	197

ВСТУП

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 [78]. Зокрема такими рослинами є хвойні, які здатні цілорічно поглинати шкідливі гази, а хвоя затримувати пил [206, 289, 314]. Крім цього, вічнозелені рослини швидко реагують на наявність в повітрі навіть малих доз токсичних речовин, тому їх вважають найкращими індикаторами стану повітряного середовища [132, 206, 208, 246, 264, 270, 276].

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 охоєнню, забарвленню хвої та надзвичайній різноманітності культиварів, які є бажаними в усіх типах міських насаджень [16, 81]. 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 аерополіутантів [71].

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 [53, 80]. 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 аерополлютантного 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.) та «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 пилку, його якості у двох видів роду *Picea*, а також встановлено 13 типів патологій пилкових зерен і зростання кількості тератоморфного пилку 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 поліутантів 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 обговорювалися 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 напрями 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.

РОЗДІЛ 1

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

1.1. Екологічний стан та джерела надходження забруднюючих речовин в екосистему міста

Місто Кривий Ріг було засноване у 1775 році як селище біля поштової станції на тракці, який сполучав Кременчук з Очаковим. Інтенсивний розвиток залізорудної промисловості (особливо в 20–60-ті роки ХХ ст.) визначив характер забудови міста. Протягом тривалого часу будівництво житлового фонду велося безпосередньо біля шахт, рудників та заводів, що призвело до утворення великої кількості відокремлених селищ, розташованих вздовж залізорудних покладів зі східної їх сторони [152].

Місто має потужний гірничодобувний потенціал і займає одне з провідних місць серед європейських країн з видобутку залізних і марганцевих руд. Внаслідок тривалого процесу господарського освоєння території міста біогеоценологічний покрив зазнав значних змін, що супроводжувалися утворенням техноекосистем в регіоні.

У 1930 р. був закладений один із найвизначніших промислових об'єктів, який відіграє значну роль в індустріальному ландшафті міста – Криворізький металургійний завод (Державний гірничо-збагачувальний комбінат «Криворіжсталь»; Міттал Стіл Кривий Ріг) [35].

З другої половини ХХ ст. (1957) на введеному в експлуатацію 35-тонному конвертері отримана перша післявоєнна криворізька сталь [152]. Завод «Криворіжсталь» став підприємством з повним металургійним циклом. Тоді ж були збудовані Центральний і Північний гірничо-збагачувальні комбінати, а в 70-ті роки введена в експлуатацію найпотужніша в світі доменна піч (№ 9) корисним об'ємом 5000 метрів кубічних [35, 152].

З розвитком відкритого способу розробки залізорудних покладів у Кривбасі зростають екологічні проблеми.

Виробничі потужності ГЗК дозволяють щорічно виробляти 74,35 млн т залізного концентрату, 21,61 млн т обкотишів та 14,9 млн т агломерату. Добувають їх переважно відкритим способом. Крім цього «АрселорМіттал Кривий Ріг» робить щорічний випуск понад 6 млн сталі, більше 5 млн прокату й понад 5,5 млн чавуну [35].

Зараз Кривий Ріг – один з найбільших у світі центрів гірничорудної промисловості. За підсумками 2012 року місто продовжує утримувати позиції лідера Дніпропетровської області з показником 37% у загальному обсязі реалізації промислової продукції, що становить 6,8% від загальноукраїнського показника. У загальному внутрішньому валовому продукті України частка продукції підприємств Кривого Рогу складає 6,4%, в експортному потенціалі країни – 7% [35]. Питома вага гірничо-металургійного комплексу складає 86% від загального обсягу промислового виробництва міста [53]. Місто багате на корисні копалини, особливо залізні руди, запаси яких згідно з прогнозом складають до 32 млрд т, а також на родовища граніту, мармуру, каолінів, бокситів, бурого вугілля. По видобутку залізної руди Кривий Ріг займає третє місце у світі, а в Україні перше [152].

Сьогодні в Криворізькому басейні функціонує близько 90 підприємств різних галузей чорної металургії. Основними найбільшими підприємствами, що негативно впливають на стан атмосферного повітря міста є: публічні акціонерні товариства «АрселорМіттал Кривий Ріг», «ХайдельбергЦемент Україна», «Криворізький залізорудний комбінат», «Південний гірничо-збагачувальний комбінат», приватні акціонерні товариства «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат», «Північний гірничо-збагачувальний комбінат», «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», «ЄВРАЗ Суха Балка», структурний підрозділ приватного акціонерного товариства «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» ГЗК «Укрмеханобр», товариство з обмеженою відповідальністю «Метінвест – Криворізький ремонтно-механічний завод».

Основний вплив на стан атмосферного повітря здійснює ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». У 2015 році обсяги викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів підприємства становили 82,3% від загального обсягу викидів забруднюючих речовин по місту.

Згідно статистичної звітності підприємств за 5 років помітно, що у 2016 році показники емісій забруднюючих речовин у атмосферне повітря міста досягли максимуму – 342 тис, а у 2018 році мінімуму – 267 тис (табл. 1.1). Щільність викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря на 1 км² площі міста в 2018 році становила 654,8, що на 150,7 (18,6%) менше, ніж у 2014 році.

Таблиця 1.1

Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне
повітря стаціонарними джерелами м. Кривий Ріг

Роки	2014	2015	2016	2017	2018
Викиди в атмосферне повітря, тис	327,374	327,051	342,881	323,904	267,433
Щільність викидів у розрахунку на 1 км ²	804,4	803,5	842,5	794,6	654,8

Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря міста (рис. 1.1), які складають майже 96% від загального обсягу викидів забруднюючих речовин є: оксид вуглецю – 73%, пил – 15%, діоксид азоту – 5%, діоксид сірки – 3%; інші сполуки – 4% (сірководень, аміак, фенол, формальдегід, оксид діазоту, метан) (табл. 1.2).

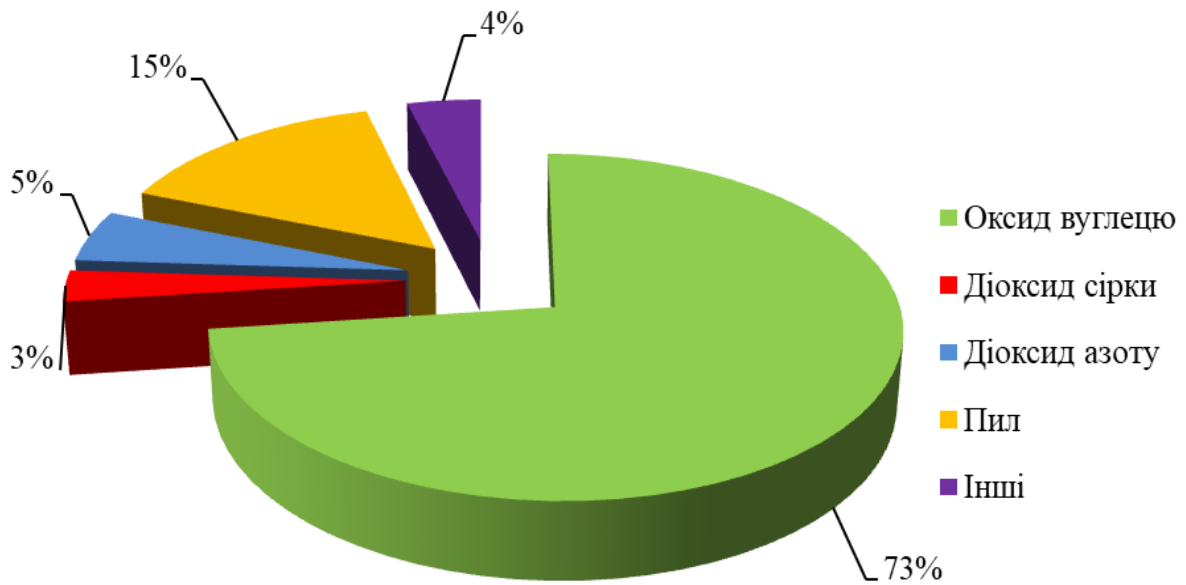


Рис. 1.1. Співвідношення викидів основних забруднюючих речовин атмосферного повітря

Таблиця 1.2

Середньорічні значення рівня забруднення атмосферного повітря м. Кривий Ріг, 2014–2018 роки

Забруднювач	Роки				
	2014	2015	2016	2017	2018
Пил	$\frac{0,5}{3,3}$	$\frac{0,8}{5,3}$	$\frac{0,3}{2,2}$	$\frac{0,4}{2,7}$	$\frac{0,4}{2,7}$
Діоксид сірки	0,023	0,012	0,014	0,017	0,014
Оксид вуглецю	2	2	2	1,9	2,1
Діоксид азоту	$\frac{0,06}{1,5}$	$\frac{0,06}{1,5}$	$\frac{0,05}{1,3}$	$\frac{0,04}{1}$	$\frac{0,04}{1}$
Оксид азоту	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02
Сірководень	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001
Фенол	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Аміак	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Формальдегід	$\frac{0,009}{3,0}$	$\frac{0,012}{4,0}$	$\frac{0,009}{3,0}$	$\frac{0,007}{2,3}$	$\frac{0,009}{3,0}$

Примітка. Наведена середньорічна концентрація забруднювачів, мг/м³, в знаменнику – перевищення ГДК.

Щорічно підприємствами міста Кривий Ріг скидається понад 200 млн м³ недостатньо очищених стічних вод, у яких частка підприємств гірничорудної промисловості становить 85,3% від загального обсягу забруднених стоків [9]. Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в місті протягом 2014–2018 років оцінювався, як високий [80].

У переліку чинників, що негативно діють на деревні рослини в містах, важливе місце займає автотранспорт. Головною причиною забруднення повітря є неповне і нерівномірне згорання палива від автотранспортних засобів. Всього 15% його витрачається на рух автомобіля, а 85% потрапляє в атмосферу [112]. Постійно зростаюча кількість автомобілів і демографічний тиск ще більше загострюють проблему [243].

У таблиці 1.3 помітно, що у 2016 році викиди вихлопних газів автотранспорту у атмосферне повітря міста досягли максимуму – 50 тис, а у 2017 році мінімуму – 32 тис (табл. 1.3). Найбільша щільність викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря на 1 км² площі міста становила 123,2 у 2016 році, що у 1,6 рази більше, ніж у 2017 році.

Таблиця 1.3

Динаміка викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами
в атмосферне повітря

Роки	2014	2015	2016	2017	2018
Викиди в атмосферне повітря, тис	48,991	42,118	50,453	31,688	39,616
Щільність викидів у розрахунку на 1 км ²	120,1	103,2	123,2	77,6	97,1

Сучасний автомобіль викидає понад 200 шкідливих речовин. При згорянні 1 кг бензину при середніх швидкостях і вантажах виділяється приблизно 300–310 г токсичних компонентів (225 г оксиду вуглецю, 55 г

оксидів азоту, 20 г вуглеводнів, 1,5–2,02 г оксиду сірки, 0,8–1 г альдегідів, 1–1,5 г сажі та ін.). При згорянні 1 кг дизельного палива виділяється близько 80–100 г токсичних компонентів (20–30 г оксиду вуглецю, 20–40 г вуглеводнів, 10–30 г оксидів сірки, 0,8–1,0 г альдегідів, 3–5 г сажі та ін. [112]).

На автомобільний транспорт України припадає 55% вуглеводневих сполук, 47% оксиду вуглецю, 98,6% оксидів азоту від загальної кількості речовин, що надходять в атмосферу [112]. Концентрація токсикантів зростає при збільшенні швидкості автотранспортного руху та при неналежному технічному стані автомобіля. Так, навіть незначні порушення в роботі системи запалення можуть у 10 разів збільшити кількість вуглеводнів, що викидаються в атмосферу, а порушення роботи карбюратора призводить до збільшення вмісту у викидах оксиду вуглецю майже вдвічі [243].

Постійне збільшення інтенсивності руху автотранспорту призводить до прогресуючого зростання забруднення довкілля уздовж магістралей. Понад 20% викидів автотранспорту осідає поблизу автошляхів. Унаслідок забруднення приземних шарів повітря і ґрунтів з обох сторін автошляхів формуються первинні аномалії токсичних і канцерогенних речовин. Зона найбільшого забруднення важкими металами являє собою смугу завширшки до 10 м вздовж автошляху [112].

Крім цього, на території міста розташовано 8 діючих кар'єрів, в яких проводиться понад 200 масових вибухів за рік. Найвищими показниками забруднення відзначається повітря у глибоких частинах кар'єрів гірничозбагачувального комплексу, де суміш газів автомобільних викидів і мінерального пилу формує так званий «кар'єрний смог». В умовах відсутності вітру смог поширюється на значні площі прикар'єрної території. При масових вибухах у кар'єрі на висоту 150–250 метрів піднімається до 150–200 т пилу. При цьому показники вмісту пилових часток у повітрі перебільшують норму в радіусі до 5 км [133]. Очевидно, така промислова діяльність призводить до формування техногенних ландшафтів. Так, площа кар'єрів у Криворізькому басейні становить 4,0 тис га, а під відвалами

розкривних порід і некондиційних руд площа займає 6,0 тис га, під хвостосховищами – 6,0 тис га. Загалом площа техногенних ландшафтів регіону становить близько 20 тис га [9].

Активне пилоутворення відбувається в процесі формування і розвантаження рудних складів, при вивозі гірничої маси у відвали. Наприклад, у процесі зсипання руди при формуванні рудного складу концентрація пилу внаслідок його видування вітром з падаючого потоку мінеральної маси (при швидкості вітру 5,5–8,0 м/с) на відстані 50–100 м від складу досягає 100 мг/м^3 (при нормі 6 мг/м^3) [51]. Пиловиділення при завантаженні та вивантаженні руди способом екскавації досягає $2\text{--}20 \text{ мг/м}^3$ на відстані 50 метрів від складу (при швидкості вітру до 8 м/с). Найбільша кількість пилу утворюється у верхній частині складів, оскільки в нижній їх частині концентруються найбільш крупні частки руди, до того ж швидкість вітру, зазвичай, збільшується з висотою. Навіть при відсутності операцій завантаження і вивантаження руди концентрація пилу досягає $15\text{--}50 \text{ мг/м}^3$ на відстані 50–100 м від рудного складу при швидкості вітру 2–8 м/с.

Джерелом пиловиділення є також суха поверхня хвостосховищ. У формуванні пилу велику роль відіграє швидкість вітру: при її величині 4–9 м/с на дамбі обвалування концентрація пилу коливається від 32 до 600 мг/м^3 . На відстані 500 м від хвостосховища концентрація пилу змінюється від 0,4 до $22,9 \text{ мг/м}^3$. В окремих випадках на відстані 3–3,5 км від хвостосховища була зафіксована концентрація пилу, в 5 разів вища за гранично допустиму. Максимальне запилення повітря навколо хвостосховищ фіксується під час суховіїв, особливо навесні і на початку літа [14]. В цілому, техногенне навантаження у межах міста становить $1677,6 \text{ т/км}^2$, що у 40 разів перевищує відповідний показник для Дніпропетровської області [2]. Слід зауважити, що внаслідок високої концентрації специфічного промислового навантаження на територію регіону відбувається формування техногенно змінених екосистем – за цією причиною Кривбас відповідає статусу зони екологічного лиха [88]. Все це актуалізує проведення екологічних досліджень у регіоні.

1.2. Вплив аерополутантів та кліматичних факторів на рослини в урбосередовищі

Вічнозелені хвойні рослини дуже чутливі до забруднюючих речовин, присутніх в атмосфері, особливо газів (у т.ч. діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), оксидів вуглецю (CO) і тропосферного озону (O_3) [259]. Такі забруднюючі речовини призводять до порушення росту дерев [15, 270, 325], зміни видового складу або збільшення чутливості рослин до ураження комахами [274]. Кислотні гази (SO_2 і NO_2) опосередковано впливають на хвойні шляхом підкислення ґрунтів, що впливає на доступність поживних речовин [200, 259, 331].

Сірчистий газ та оксиди азоту є первинними забруднювачами повітря, які потрапляють в атмосферу з антропогенних джерел. Діоксид сірки та оксиди азоту є газами, що проникають до клітин рослин і безпосередньо впливають на фізіологічні процеси в асиміляційних органах, переважно на асиміляцію CO_2 і фотосинтез. Крім того, вони є кислотними газами, які після розчинення у воді від атмосферних опадів призводять до підкислення навколишнього середовища [185].

Діоксид сірки (SO_2) є сильнодіючою асиміляційною отрутою [124]. Вплив сірчистого газу і важких металів викликає у ялин зменшення фітомаси хвої в 2–3 рази, знижується водоутримуюча здатність, в результаті чого термін життя хвої скорочується в три і більше разів [146, 179]. Проникнення діоксиду сірки до клітин асиміляційних органів призводить до зниження рН і до порушення окисно-редукційного балансу в рослинній тканині. Це викликає втрату хлорофілу та порушення процесу фотосинтезу, що в результаті спричинює зменшення асиміляції CO_2 [230, 283, 297]. При тривалому впливі діоксиду сірки пригнічується ріст рослин, у деяких випадках відмирають верхівки пагонів. В результаті високих концентрацій двоокису сірки у хвойних спостерігається характерне ушкодження – суховершинність, а також хлороз – раннє старіння хвої і міжжилкові некротичні плями [68, 215, 327]. Згодом пошкоджена хвоя передчасно

опадає [249]. Ступінь пошкодження деревних рослин сірчистим газом зростає вдень і особливо опівдні, а в темний час доби і в затіненні знижується [84]. До 1970-х років SO_2 вважався ключовим фактором кислотного дощу, що викликав загибель лісу [193].

Велика кількість оксидів азоту (NO_x) призводить до появи іржаво-червонуватого некрозу на голках або знебарвлення голки [221, 234], а також можна помітити відносно великі, коричневі або чорні плями [163, 328]. У міському повітрі, в зонах з підвищеним вмістом оксидів азоту (NO_x), спостерігається «позеленіння» стовбурів і нижніх гілок дерев, завдяки інтенсивному розростанню на корі дерев дрібних водоростей зеленого кольору. Під впливом оксидів азоту у рослин спостерігається опадання хвої, недорозвиненість пагонів, розрідження крони [155].

Оксид вуглецю (CO) або чадний газ є найбільш поширеною речовиною, що надходить в атмосферу в результаті спалювання і переробки органічного палива. Особливо висока концентрація чадного газу в повітрі спостерігається на перехрестях великих автомагістралей при скупченні автотранспорту, а також на вулицях з інтенсивним рухом. Автотранспорт не тільки отруює міське повітря шкідливими для дерев сполуками, але й ущільнює і забруднює ґрунт під деревами і наносить їм механічні пошкодження, особливо при паркуванні на вулицях [198]. Забруднення атмосфери газом і твердими речовинами впливає на сільські, промислові і міські об'єкти [181, 203, 256]. Відмічено, що чадний газ викликає зменшення проникності клітинних мембран, особливо він пригнічує процес дихання рослин [8, 283].

Джерела озону в атмосфері утворюються в результаті фотохімічних реакцій його попередників (оксидів азоту, органічних сполук та діоксидів вуглецю) [185]. У дерев, які пошкоджені озоном, на фізіологічному рівні відмічають зниження вмісту хлорофілу, більш швидке старіння хвої, зниження швидкості фотосинтезу, порушення асиміляції вуглецю і транспортування води і поживних речовин між корінням і гілками, що супроводжується погіршенням стану рослини [200, 233, 257, 334]. Озон

також викликає порушення судинної системи рослин, що є наслідком зниження росту біомаси та їх стійкості [185]. Древа, що ростуть в районах з високим рівнем озонowego забруднення, показали менший приріст стовбура, порівняно з насадженнями на відносно чистих територіях [329].

Забруднення повітря свинцем при спалюванні етилованого бензину створює значну небезпеку для рослин [58, 126]. Осідаючи на поверхні листків, Pb потрапляє в клітини рослин, порушує їх поживний баланс, уповільнює процес фотосинтезу [70]. В Україні ряд вчених [12, 21, 64] вказують, що зростання вихлопів автотранспорту збільшує рівень ураження хвої та листків деревних рослин та погіршує їх декоративність в умовах аеротехногенного впливу, особливо наприкінці вегетації. В зоні сильної дії токсичних речовин зростає кількість опавшої хвої [21].

Небезпечним для дерев є надмірне накопичення у ґрунті іонів KCl і хлору в результаті використання хлористих солей для швидшого танення снігу й льоду в зимку, поливання дерев хлорованою водою [189, 197]. Так на вулицях Києва в окремих випадках у верхньому 20 см шарі ґрунту фіксувалось до 55–59% хлору від маси ґрунту [148]. Надлишкові концентрації водорозчинних солей KCl і хлору в ґрунті негативно впливають на здатність рослин адсорбувати з ґрунтового розчину вологу, необхідну для ростових процесів, впливають на різні фізіологічні процеси в рослинах: знижують активність фотосинтетичного апарату та викликають структурні зміни хлоропластів [248].

Одним із забруднювачів, що впливає на якість повітря міст, є атмосферний пил [295, 296, 301, 311], що утворюється на вугільних шахтах, теплових електростанціях, цементних заводах, промислових підприємствах, при автомобільному транспорті і т.д. Відкладення шару пилу на асиміляційних органах рослин призводить до зниження синтезу хлорофілів [225, 267, 304], обміну вуглекислого газу CO₂ [210, 284, 295], засвоєнню вуглецю [196]. Крім цього, накопичення пилу на поверхні хвої індукує водно-стресоподібні умови – такі, як зниження об'єму випаровування води

продихами [224, 337] їх закупорювання [283, 295, 301, 322], зменшення швидкості фотосинтезу [224, 308, 310], транспірації та дихання [213,310, 337]. Слід відзначити, що щільно запилене листя або хвоя поглинаючи світло витрачає більше енергії, це спричинює підвищення їх температури і посилену втрату запасу вологи або водний дефіцит [134, 337]. Потрапляння пилу до ґрунту погіршує його родючість [308]. Постійний вплив пилових викидів призводить до ослаблення та зниження продуктивності рослин, які стають об'єктами масового заселення шкідниками або грибними інфекціями, що призводить до знищення деревостанів [134, 213].

З другої половини ХХ століття серйозною проблемою для більшості країн Європи стало не тільки забруднення атмосферного повітря [180, 204, 205, 307], а також негативні кліматичні умови (низькі температури, мороз, періоди посухи, сильні вітри) [217, 237].

Посуха – один з найважливіших факторів навколишнього середовища, що призводить до обмеження росту, розвитку та продуктивності рослин [182, 226, 336], а також викликає зменшення фотосинтезу та зміни параметрів флуоресценції [268, 340]. Стрес посухи впливає на численні метаболічні й фізіологічні процеси рослин. Посуху вважають рушійним чинником загибелі *Picea abies* у багатьох країнах [226, 238, 302], підкреслюючи необхідність більшого знання про те, як рослини відповідають на зміни навколишнього середовища. За даними К. Power, M.D. Gillis [277] у Британській Колумбії площі ялинових лісів, що всихають, зросли до 8,5 млн га, а у Польщі за даними W.P. Grodzki et al. [223], Z. Sierota [302] площі ялинових лісів, що всихають зросли понад 200 тис га. На всихання ялин впливає техногенне забруднення атмосфери і ґрунту внаслідок широкомасштабної глобальної діяльності людини [187].

У Росії в останні 20 років щорічно всихає близько 300 тис га хвойних лісів [55, 154]. Ряд російських та українських вчених [18, 27, 87, 106, 107] вказують на основні причини недовговічності ялини європейської поза

межами її природного ареалу, які зумовлені передусім несприятливими для породи ґрунтово-кліматичними умовами – несприятливий водний режим, періодичні засухи, тепла і м'яка зима, відсутність тривалого зимового спокою тощо. В.А. Медведєв та О.О. Ільєнко (2014), вважають, що рослини ялини європейської вже за сучасного рівня посухи опинились серед усохлих рослин [101]. Причинами всихання ялиників Передкарпаття та Зовнішніх Карпат є те, що у них поверхнева коренева система, яка майже вся знаходиться в верхньому 40–50 см шарі ґрунту і пересихає від нестачі вологи [29, 46].

Однією з актуальних проблем для ялинових насаджень Передкарпаття та прилеглих територій, як вказує П.Я. Слободян (2003) є кореневі гнилі [128]. С.В. Шевченко (1974), відзначаючи високу продуктивність 25-річних ялиників в умовах інтродукції, вказав на їх пошкоджуваність кореневою губкою [168]. За останні десятиріччя зросла інтенсивність та частота спалахів масового розмноження короїда-типографа як у Карпатах, так і в інших регіонах [79].

Декоративні хвойні рослини в міських насадженнях південного сходу України найбільш чутливі до непаразитарних хвороб, пов'язаних з несприятливим впливом погодно-кліматичних і антропогенних чинників (промислове і автотранспортне забруднення), а також з порушенням агротехніки вирощування [19, 33]. Встановлено, що в умовах урбанізованого середовища м. Донецьк у рослин виду *P. pungens* скорочується тривалість життєвого циклу та з досягненням 30-річного віку у дерев з'являються ознаки старіння і зниження життєздатності [137]. Водночас Т.І. Юсипіва (2017) наголошує, що рослини *P. pungens* можна використовувати в озелененні техногенних територій степового Придніпров'я, забруднених комплексом речовин (SO_2 , NO_x , CO , тверді домішки, у тому числі важкі метали манган, мідь, цинк, нікель, свинець, кадмій) [174]. Даний вид в насадженнях штучної придорожньої лісосмути в м. Дніпро мав незначний відсоток пошкодження шкідниками [57]. Н.Ю. Висоцькою (2010) виявлено, що у степовій зоні перспективними для створення декоративних насаджень є дерева *P. pungens* і

P. abies, які оцінено у межах 4,1–4,9 балів, тобто рослини високодекоративні. Обидва види характеризуються якісним насінням і наявністю життєздатного самосіву, отже мають 5-й (найвищий) ступінь акліматизації за О.Л. Липою [23]. Тоді як в насадженнях Херсонської області рослини *P. abies* та *P. pungens* характеризувались низькою життєздатністю – 3 бали [17].

В ході дослідження видового складу деревної рослинності м. Запоріжжя рослини *P. abies* виявились одним із видів, що мали велику частку непошкоджених дерев (від 51,5 до 94,4%) [52]. В той час цей вид мав найбільшу кількість пошкоджених дерев фітопатогенними мікроміцетами серед всього асортименту хвойних представлено в насадженнях м. Миколаєва через, що його вважають малоефективним в умовах міста на відміну від рослин *P. pungens* [69]. В умовах південного сходу України вид *P. pungens* та його форми рекомендовано для використання в зеленому будівництві, оскільки вони перевершують культивовані тут раніше породи за декоративними якостями та стійкістю [28]. Однак зростання дерев *P. pungens* біля автошляхів в м. Дніпро негативно впливає на їх декоративні властивості, а саме погіршується річний приріст пагонів та зменшуються морфометричні параметри хвої [13]. Рослини *P. abies* та *P. pungens* в умовах промислового м. Кривий Ріг характеризувались найкращими показниками життєвого стану в насадженнях ботанічного саду, скверах та парках, особливо *P. abies* [157]. Як видно з вищенаведеного, внаслідок специфічних кліматичних умов промислових міст та характеру забруднення повітря, рослини з різних географічних пунктів неоднаково реагують на комплексну дію цих чинників. Очевидно, цим і пояснюється неоднозначність у висновках науковців щодо рівня стійкості ялин.

1.3. Роль хвойних в оптимізації та біомоніторингу стану урботехногенного середовища

В умовах промислових міст вічнозелені рослини відіграють важливу роль в оптимізації середовища. Відомо, що влітку гектар листяного лісу

виділяє за один день 2 кг, хвойного – 5 кг летючих речовин, згубних для мікроорганізмів. Найбільше виділяється фітонцидів протягом дня і в період цвітіння рослин [26]. Фітонцидна активність рослин дозволяє пригнічувати розвиток хвороботворних бактерій, підвищуючи при цьому якість повітря. А також вічнозелені дерева набувають провідної ролі в збагаченні киснем повітря міст. Так наприклад, хвойні на 1 т фітомаси виділяють кисню на 12%, а поглинають вуглекислого газу на 20% більше, ніж листяні породи [200, 231]. Вічнозелені рослини покращують мікроклімат міського середовища, оберігають від надмірного перегріву ґрунт, поверхню будівель, дорожні покриття, створюють комфортні умови для перебування на відкритому повітрі. Влітку температура повітря серед міської забудови вища на 2–5°C, порівняно з озеленими територіями [100, 272]. Листяні дерева в міських насадженняхносять більше збитків листовим сміттям, ніж вічнозелені рослини [279].

Кращим шумозахисним ефектом володіють насадження хвойних порід, мають цілий рік густу зелену крону [201]. Високочастотні шуми від руху автомашин і електропоїздів добре поглинаються при розташуванні посадок паралельно дорозі [97]. При ширині їх до 40–45 м вихідний рівень шуму падає на 17–23 дБ. З кінця 70-х років XIX ст., ялину висаджують вздовж залізничних колій для їх захисту від снігових заметів та сильних вітрів [1].

Крім цього, хвойні цінні завдяки своїй цілорічній декоративності, морозостійкості, невибагливості до родючості ґрунту. Висока художньо-естетична виразність вічнозелених рослин робить їх незамінними в ландшафтних композиціях. Ряд вчених А.Ю. Мазур, І.І. Коршиков та ін. (2018) відзначають, що вічнозелені рослини потрібно використовувати в озелененні різних за призначенням територій населених пунктів. За ними велике майбутнє при вирішенні сучасних проблем оптимізації урбаносередовища промислових міст в степовій зоні України [89].

Останнім часом саме види роду *Picea* пропонують використовувати як біоіндикатори аеротехногенного забруднення [132, 264, 265], оскільки

листяні дерева, щорічно оновлюючи листя, звільняються від токсичних сполук [240]. Доведено, що хвоя накопичує в середньому у 12 разів більше твердих частинок, ніж листя [313, 326], особливо вона більш ефективно затримує надтонкі частинки пилу, ніж широколистяні дерева [191, 206, 216, 289]. Концентрація сірчистого газу в озелененій зоні на відстані 500 м від джерела забруднення в 2 рази менша, а оксидів азоту – в 12 разів [127].

Хвойні насадження найбільш часто залучають для моніторингу забрудненого середовища на великих територіях, при цьому їх використання на малих ділянках також досить інформативно [155, 338]. У літературі зустрічається низка робіт, які свідчать що хвойні рослини більш чутливі до аеротехногенного забруднення, ніж листяні [132, 191, 206, 208, 220, 320]. Відмічено, що хвоя завдяки своїй складній структурі зі шорсткими, липкими або восковими поверхнями більш ефективно утримує та накопичує токсичні речовини, ніж листя [191, 206, 289, 314]. Доведено, що асиміляційний апарат хвойних є потенційно надійним біомаркером реакції рослин на стрес [246, 291] та на техногенний вплив [206, 208, 276]. За анатомічним дослідженням асиміляційного апарату ялини виявлено, що радіочутливість цієї породи вище, ніж у сосни [86].

Для оцінки стану міських насаджень необхідна рання діагностика життєздатності деревостанів, що в короткі терміни дозволяє отримати повну інформацію про ступінь техногенного впливу на них. В першу чергу пошкодження хвойних проявляються на фізіолого-біохімічному рівні [306], потім поширюються на ультраструктурний та клітинний рівень. І лише після цього розвиваються візуальні пошкодження рослин [105, 288]. Така сприйнятливості пояснюється тим, що більшість важливих фізіологічних процесів здійснюється в асиміляційному апараті, який служить центром варіабельності або пластичності організму [14].

Відомо, що одним з біохімічних показників реакції рослин на зміну факторів зовнішнього середовища, ступеня їх адаптації до нових екологічних умов є вміст хлорофілів і каротиноїдів – головних фоторецепторів

фотосинтезуючої клітини [212, 246, 263, 321]. Розвиток, зростання і продуктивність рослин тісно пов'язані з фотосинтезом [303]. Широко вживаним показником для індикації пошкодження хвої, викликаного дією забруднюючих повітря речовин, є зниження вмісту хлорофілу, різниця у змінах його форм *a* і *b*, каротиноїдів [11, 252, 258, 312]. У літературі зарубіжних і вітчизняних вчених широко обговорюється фізіологія впливу шкідливих викидів промислових підприємств [252, 262] та автотранспорту [13, 331] на вміст пігментів хвойних рослин.

Відомо, що на ультраструктурному та клітинному рівні відбуваються анатомічні зміни, які можуть бути використані в якості біологічних маркерів для забруднення повітря [161, 245]. Асиміляційні органи хвойних виконують важливі функції: в процесі росту і розвитку рослин за станом їх анатомічних характеристик можна визначити потенційні можливості деревостанів, особливо в умовах урбосередовища [60, 131, 208]. Внаслідок техногенного порушення змінюються анатомічні показники як листяних рослин [183, 275, 285, 299, 300], так і хвойних [222, 251, 258, 282, 323, 333]. В несприятливих кліматичних умовах, особливо при посухі та бідності ґрунту відмічають зменшення центрального провідного циліндра, відносної площі мезофілу, кількості смоляних каналів, розмірів епідерми і гіподерми, а також площі поперечного перерізу хвої та площі її поверхні [236, 255, 317]. Далі спостерігаються помітні прояви пошкодження рослин – хлорози і некрози тканин хвої, передчасне її опадання, зменшення довжини хвої та приросту бічних пагонів, розвиваються ознаки дехромації та дефоліації крони [13, 108, 132, 186, 208, 262]. Наростання маси хвої відображає процес накопичення органічних речовин, тому її зменшення в зонах забруднення свідчить про порушення процесів метаболізму, які згодом призводять до скорочення тривалості життя хвої [161, 178, 229, 273]. Добре розвинений асиміляційний апарат не тільки відіграє важливу роль у декоративності рослин, але є одним із основних показників їх стійкості до несприятливих техногенних факторів.

Атмосферне забруднення безпосередньо впливає на фізичні, хімічні та біологічні властивості як хвої [60, 280, 321] так і пилкових зерен [74, 219, 293]. За результатами морфоанатомічних і морфофізіологічних характеристик хвої і пилку Nikolic et al. (2019) зробили висновок про те, що наслідки забруднення повітря більш очевидні у випадку пилку [270].

Ряд вчених [74, 150, 192, 202, 219, 293, 315, 316] встановили, що в рослин під впливом аерополутантів змінюється якість пилку: знижується його життєздатність, фертильність, збільшується рівень стерильності і частка пилкових зерен з аномаліями, зменшується здатність проростати і утворювати нормальні пилові трубки. Також негативний вплив токсичних речовин на життєздатність пилку посилюється в період випадання туманів і кислих дощів [147, 281]. В умовах промислового забруднення у хвойних зростає число патологій в процесі мікроспорогенеза [63, 153].

В процесі розвитку генеративних органів та дозрівання насіння в несприятливих екологічних умовах у хвойних, як в природних [123, 242, 244], так і в штучних насадженнях іноді спостерігаються аномалії, що негативно впливають на якість насіння або призводять до повної втрати їх життєздатності [90, 93, 271]. Це підтверджується літературними джерелами вітчизняних і зарубіжних авторів з питань репродуктивного розвитку ялин в умовах інтродукції [92, 109, 114, 271] та їх розмноження в умовах *in vitro* [209, 265, 298, 318]. Встановлено, що насіннева продуктивність залежить від життєздатності пилку та впливу техногенних факторів. Тому вивчення насінневої продуктивності в нових умовах вирощування особливо в техногенних є показником успішності інтродукції рослин, що дозволяє оцінити їх адаптаційний потенціал, а також надає можливість використовувати цей показник для біодіагностики.

Попередні дослідження роду *Picea* A. Dietr. у м. Кривий Ріг носили фрагментарний характер [48, 139, 157]. Так наприклад, І.А. Добровольський, В.Д. Федоровський, Н.С. Терлига досліджували видовий склад хвойних та їх життєвий стан. Крім цього К.М. Домшина та В.М. Савосько (2016) вивчали

озеленення пришкільних ділянок північної частини Криворіжжя та встановили, що найчастіше використовують дерева *Picea abies* [122]. Більш всебічного аналізу та детального вивчення еколого-біологічних особливостей формування рослин роду *Picea* A. Dietr. у промисловому місті Кривий Ріг не проведено. Тому актуальним є порівняльний аналіз рослин одного родового комплексу, вивчення їх біометричних показників, морфометричних параметрів, особливостей асиміляційного апарату та репродуктивного потенціалу. Представники роду *Picea* A. Dietr. потребують комплексної оцінки особливостей зростання в умовах промислового забруднення та несприятливого кліматичного режиму з метою збереження видового складу деревних рослин та збільшення біорізноманіття в м. Кривий Ріг за рахунок акліматизованих видів в результаті інтродукції. Це дозволить залучати іншорайонні види ялин з несхожими декоративними і екологічними характеристиками для створення різних типів насаджень з високими естетичними якостями та ефективними фітомеліоративними функціями в умовах степової зони України.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОБ'ЄКТІВ ТА МЕТОДІВ

2.1. Фізико-географічна характеристика території м. Кривий Ріг

Місто Кривий Ріг Дніпропетровської області розташоване на південному сході Центральної України. Загальна площа міста – 4,1 тис км². Воно має протяжність з північного сходу на південний захід 126 км і є найдовшим містом у Європі; при цьому ширина його не перевищує 20 км.

Згідно удосконаленої схеми фізико-географічного районування України, район дослідження відноситься до Східно-Європейської рівнини, Степової зони, Північностепової підзони, Дністровсько-Дніпровського краю, Південно-Придніпровської схилово-височинної області і Верхньоінгулецького району [98]

Місцевість являє собою степову рівнину зі слабким нахилом на південь, із розвинутою яружно-балковою системою та чітко окресленими долинами річок, що надає поверхні характеру горбистої степової рівнини [95]. Основними фізико-географічними процесами, які зумовлюють природне рельєфоутворення у Криворізькому регіоні, є поверхневий змив, меншою мірою – яружна ерозія. [20].

На території Криворіжжя протікають 8 річок. Усі вони входять до басейну Дніпра. Це Інгулець з притоками: Саксагань, Зелена, Жовта, Бокова (з притокою Боковенька), Вербова (притока Висуні, що, у свою чергу, впадає в Інгулець), а також Кам'янка – притока Базавлуку. Природна гідрографічна сітка замінена і частково знищена, особливо у середній та нижній течії Саксагані. На річках, у балках та подах Кривбасу створено 5 водосховищ і понад 100 ставків [61].

У відповідності до агроґрунтового районування України досліджувана територія входить до складу Дністровсько-Дніпровської провінції підзони чорноземів звичайних; південна частина регіону заходить у межі Азово-

Причорноморської південностепової провінції підзони чорноземів південних [130].

Чорноземи звичайні малогумусні займають 67,5% площі Кривбасу [61, 176]. На півночі переважають важко-суглинисті, південніше – легкосуглинисті малопотужні різновиди з вмістом гумусу в орному шарі в середньому 3,4–5,2% (з коливанням від 2,0 до 6,0%). Південніше лінії Миколаївка – Широке – Радущне, де знижується рівень зволоження, поширені чорноземи південні малопотужні малогумусні та становлять 20,3% площі регіону. У заплавах, а також у комплексі з південними чорноземами на периферії подів і мікрозападин поширені лучно-чорноземні ґрунти (4,3% площі регіону), які характеризуються великим запасом елементів мінерального живлення і глибоким гумусованим горизонтом потужністю 60–70 см. На більш знижених і зволжених ділянках в комплексі з ними зустрічаються солонці лучностепові і осолоділі. На днищах балок і подів зустрічаються лучні засолені і чорноземно-лучні глибоко-слабосолонцюваті та слабосолончакуваті ґрунти, які насичені лугами. Вони характеризуються великою забезпеченістю елементами мінерального живлення і мають вміст гумусу 3,4–5,4%. Під впливом антропогенних факторів запаси гумусу постійно зменшуються [61, 176].

Ґрунти із різним ступенем еродованості займають 37% площі регіону. І.А. Добровольський та Є.Д. Ющук відмічають зниження вмісту гумусу від 8,2 до 13,9 % в умовах гірничо-металургійних викидів Криворіжжя [49, 175, 176]. За даними І.О. Комарової (2019) вміст гумусу біля «АрселорМіттал Кривий Ріг» коливався в межах 1,5–2,4% [68]. Також виявлено техногенні аномалії деяких хімічних елементів у ґрунтах. Біля металургійних комбінатів це купрум, цинк, свинець, кадмій [68]; біля гірничо-видобувних підприємств – залізо, кремній [49, 176].

За геоботанічним районуванням територія міста входить до Бузько-Дніпровського (Криворізького) округу різнотравно-злакових степів, байрачних лісів та рослинності гранітних відслонень; крайній південь – до

Бузько-Інгульського округу злакових степів, подових луків і рослинності вапнякових відслонень [47].

Сучасний рослинний покрив Криворіжжя має трансформований характер внаслідок інтенсивної господарської діяльності. Зональна степова рослинність нині існує лише на схилах балок та річкових долин. У північній частині вона представлена різнотравно-типчаково-ковилловими, а на півдні – типчаково-ковилловими степами. В результаті сільськогосподарського освоєння земель на Криворіжжі розорано майже 85% території [61, 129].

Природна рослинність збереглася лише на 0,5% території і має фрагментарний характер [85]. Природних лісів в околицях міста немає, крім невеликих масивів байрачних, розташованих в гирлах балок і по берегах річок. Незначна поширеність лісової рослинності пояснюється сухістю клімату, дефіцитом вологи та засоленістю ґрунтів [85].

Згідно зі схемою кліматичного районування Б.П. Алісова (1956), Криворізький регіон належить до Атлантико-континентальної європейської недостатньо вологої, теплої області помірної кліматичної зони [3]. Характерними рисами клімату цієї зони є континентальність: спекотне сухе літо, значно холодна, а в більшості випадків малосніжна зима, інтенсивно перебігаюча весна, часті посухи та суховії [67].

Найбільш сонячними місяцями року є липень-серпень, коли сумарна тривалість світлового дня за місяць складає 280–310 годин, мінімальні величини (30–40 годин) припадають на грудень. Середньорічна тривалість сонячного сяння становить 2100–2300 год. Середньомісячна температура повітря у січні складає $-4...-3^{\circ}\text{C}$; у липні – $+22,5...+23^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури зафіксований у липні і складає $+40^{\circ}\text{C}$, а зафіксований абсолютний мінімум сягає -30°C . Амплітуда абсолютних температур становить 70°C . Середньодобова температура самого холодного місяця (січень) -5°C . Сума середньодобових ефективних температур, що перебільшують $+5^{\circ}\text{C}$ складає $2400-2500^{\circ}\text{C}$, тривалість цього періоду – 125–135 діб. Сума середньодобових активних температур вище 10°C за

вегетаційний період складає 3100–3200^oC, тривалість цього періоду – 165–175 діб. Середньорічна температура повітря Криворіжжя на півдні вища на +1,1^oC ніж на півночі регіону. За останні 30 років середня річна температура повітря підвищилася більше, ніж на +0,50^oC. Середньорічний показник атмосферного тиску по місту – 753,7 мм. рт. ст. [61].

Тривалість безморозного періоду – 170 діб на півночі міської території і 180 діб – на півдні. У безсніжні зими відмічається глибоке промерзання ґрунту – до 1,5 м, але середня багаторічна глибина його промерзання складає 16–18 см [61]. Висота снігового покриву становить 10–15 см.

Криворіжжя характеризується переважанням вітрів північних (49% повторюваності) та менше всього спостерігається південний вітер. Середня швидкість вітру складає 5,0 м/с, збільшується у холодний період та знижується в влітку [20]. У середньому 29 днів на рік спостерігаються сильні вітри (зі швидкістю більше 15 м/с), які найчастіше бувають наприкінці весни та в осінні місяці. Влітку часті суховії – вітри зі швидкістю 5,7 м/с, при відносній вологості повітря 25–30%. Суховії та пилові бурі бувають в середньому 6–20 днів на рік [61].

Криворіжжя відносять до посушливих районів України [61]. Сума опадів за вегетаційний період складає приблизно 160–250 мм, а за рік – 360–425 мм. Більш вологою є північна частина Кривого Рогу, де випадає більш ніж на 30–50 мм опадів на рік порівняно з південною частиною міста [61]. Найбільша кількість атмосферних опадів вегетаційного періоду припадає на літні місяці, із яких найбільше – у червні. Найменша кількість опадів спостерігається з січня по квітень, а найбільш посушливі умови – у вересні.

Середній показник випаровування для Кривого Рогу складає 740 мм, а середній коефіцієнт зволоження – 0,54, що характеризує регіон як територію з недостатнім і нестійким зволоженням [61]. За даними Л.М. Булави (1990), протягом усіх літніх місяців баланс зволоження відрізняється дефіцитом [20]. Це пояснюється тим, що високі літні температури повітря і значне

випаровування (вдвічі) переважає над сумою атмосферних опадів. Сумарний річний дефіцит зволоження дорівнює 350–420 мм [61].

Отже, фізико-географічна специфіка міста Кривий Ріг зумовлена його положенням на межі ґрунтово-рослинних підзон та значною антропогенною трансформацією території, що робить даний регіон цікавим об'єктом для проведення екологічних досліджень.

2.2. Характеристика гідротермічних умов у період проведення досліджень

У роки досліджень 2016–2018 рр. спостерігалось зниження кількості опадів і підвищення температури повітря, особливо, в теплий період року, у порівнянні з середньобагаторічною нормою. Відмічено перевищення температури у 2016–2017 роках протягом 6 місяців; у 2018 році – протягом 9 місяців (включно з вегетаційним періодом) (табл. 2.1).

Так наприклад, у серпні середньомісячна температура перевищувала норму на 1,7°C, 2,8°C і 2,3°C та у вересні на 1,3°C, 3,4°C і 3,1°C відповідно по роках. Аномально теплим був квітень: максимальне відхилення температури від норми перевищувало багаторічні показники на 8,9°C, 5,7°C і 9,9°C відповідно по роках. У 2018 році підвищення температури у холодний період (січень–лютий) перевищує середньомісячну норму в середньому на 2,1°C.

Співставлення середньорічних показників температурних режимів із кількістю опадів демонструє найбільше відхилення від норми у 2018 році. Цей рік відзначився і максимальною кількістю опадів, особливо в жовтні, що становить перевищення середньорічної норми у 4,4 рази (рис. 2.1). У 2017 та 2018 році в червні випадало в 2 та 2,6 разів менше опадів від норми та у серпні в 1,4 та 8,2 разів менше відповідно.

Помітно, що в період вегетації найскладніші умови для розвитку рослин щодо зволоженості були у 2018 році, а найсприятливіші – у 2016.

Таблиця 2.1

Характеристика метеорологічних умов 2016–2018 років (за даними
авіаметеостанції м. Кривий Ріг)

Місяць	Температура повітря, °С			Середня багаторічна норма, °С	Опади, мм			Середня багаторічна норма, мм
	2016	2017	2018		2016	2017	2018	
Січень	-5,9	-6,0	-2,3	-5,3	74	28	22	40,7
Лютий	1,8	-3,0	-2,0	-3,2	32	15	30	27,0
Березень	+5,0	+5,8	-1,3	-0,2	49	7	85	16,6
Квітень	+12,4	+9,2	+13,4	+3,5	68	59	8	33,2
Травень	+15,4	+15,5	+18,8	+15,5	66	35	38	38,7
Червень	+20,5	+20,9	+21,7	+20,0	83	26	20	51,1
Липень	+23,1	+21,6	+23,0	+22,3	19	50	58	32,8
Серпень	+22,9	+24,4	+24,5	+21,2	39	23	4	32,8
Вересень	+16,3	+18,4	+18,1	+15,0	23	33	41	27,7
Жовтень	+7,1	+9,4	+12,1	+9,1	109	27	10	24,8
Листопад	+2,0	+3,8	+0,8	+2,4	76	28	41	23,1
Грудень	-2,7	+4,2	-1,7	-1,3	26	72	60	34,4
Середньорічні показники	+9,8	+10,4	+10,4	+8,8	55,3	33,6	34,8	31,9

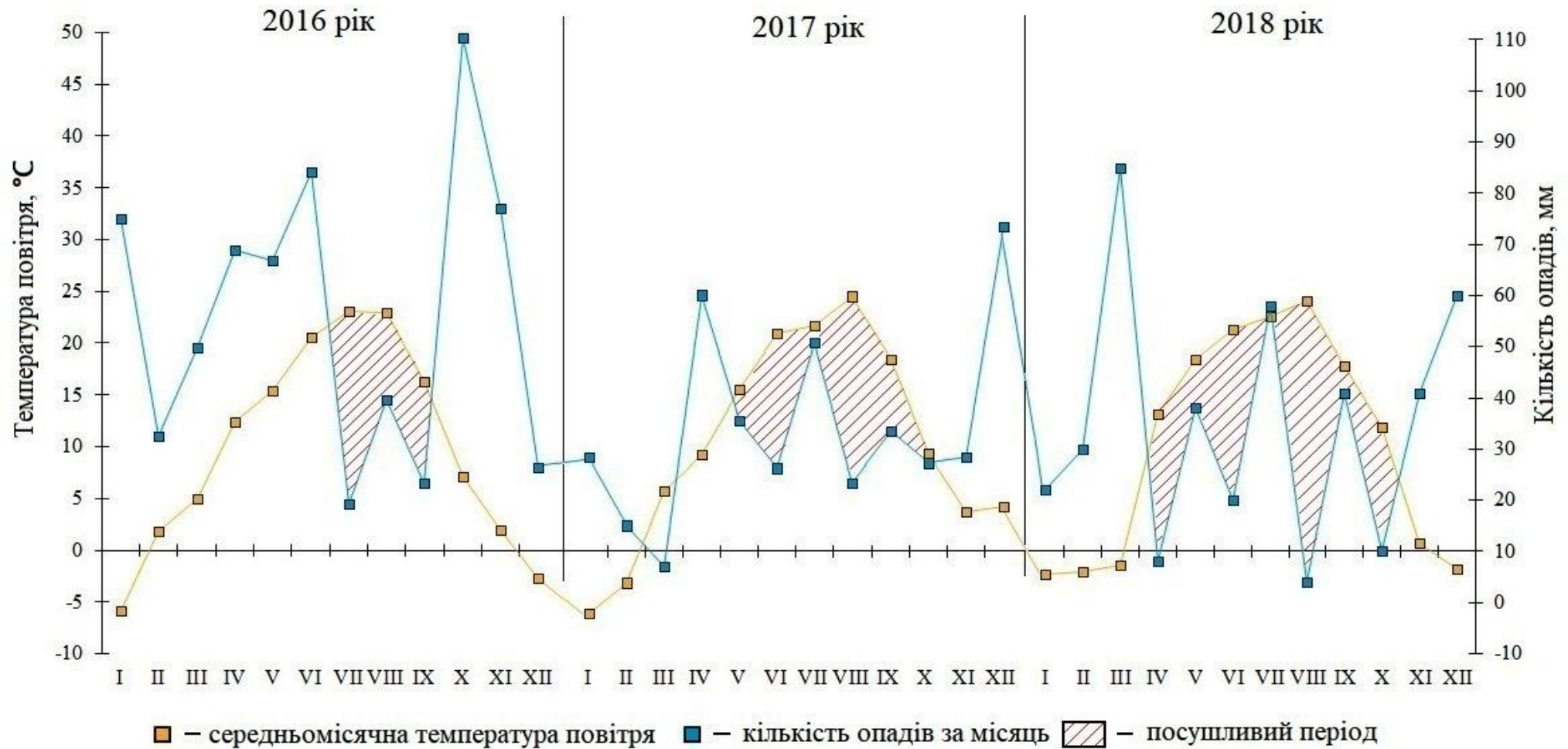


Рис. 2.1. Клімадіаграми 2016–2018 років (за даними авіаметеостанції м. Кривий Ріг)

Посушливі періоди чергувалися з дощовими. Відмічено, початок гідротермічних стресових періодів навесні у 2018 році (з квітня) та у 2017 році (з травня) і по жовтень, а в 2016 році – в літку (з липня і по вересень). Мінімальні середньорічні показники гідротермічного коефіцієнту зволоження (ГТК) зафіксовано у 2018 році в квітні, червні та серпні (0,2; 0,3 та 0,1 відповідно), що відповідає періоду дуже сильної посухи. У 2017 році в червні та серпні (0,4 та 0,3 відповідно), а у 2016 році в липні – 0,3 відповідно. Такі умови спричинюють зниження запасів вологи в ґрунті і, як наслідок, перегрів рослини, зниження водонасиченості тканин. Обмежене надходження води порушує роботу фотосинтезу у рослин.

Щодо загальної характеристики температурних умов періоду досліджень, спостерігається тенденція у бік зростання середньомісячних температур протягом всіх трьох років. Середньомісячна кількість опадів протягом всіх трьох років або перевищувала норму, як наприклад у 2016 році або спостерігалась недостатнє зволоження, особливо у 2017 та 2018 роках. Це може бути наслідком глобальних кліматичних змін [18].

Метеорологічні умови слід враховувати при використанні рослин в зеленому будівництві промислових міст, оскільки гідротермічний стрес знижує їх життєвість та витривалість щодо впливу аеротехногенного забруднення. Використання іншорайонних видів, стійких до посушливих умов Степового Придніпров'я, надасть можливість збільшити біорізноманіття деревних рослин та покращити екологічний стан промислових міст на Сході України.

2.3. Характеристика моніторингових ділянок

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. 2.2)

(табл. 2.2). Окрім того, окремі ділянки характеризуються різним локальним рівнем забруднення.

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». Основними забруднюючими речовинами в даних екотопах є оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид сірки, діоксид азоту, пил, парникові гази та речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом.

В екотопах 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. У вихлопних газах автотранспорту містяться: оксид азоту, оксид вуглецю, свинець, вуглеводень, альдегіди, сажа, бенз(а)пірен і тверді дрібнодисперсні частки.

Незначного рівня забруднення вище наведеними речовинами зазнають насадження що 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.

Таблиця 2.2

Моніторингові ділянки із різним рівнем аеротехногенного впливу

Локальний рівень аеротехногенного забруднення	Адміністративний район	Моніторингові ділянки	Місцезнаходження насаджень
Незначний	Тернівський Покровський Металургійний	1 (контроль) 2 3	КБС НАН України парк Шахтарський парк Героїв АТО
Помірний	Тернівський Покровський Металургійний	4 5 6	вул. Черкасова вул. Ватутіна просп. Металургів
Високий	Тернівський Металургійний	7 8	біля Північного ГЗКа біля «АрселорМіттал Кривий Ріг».

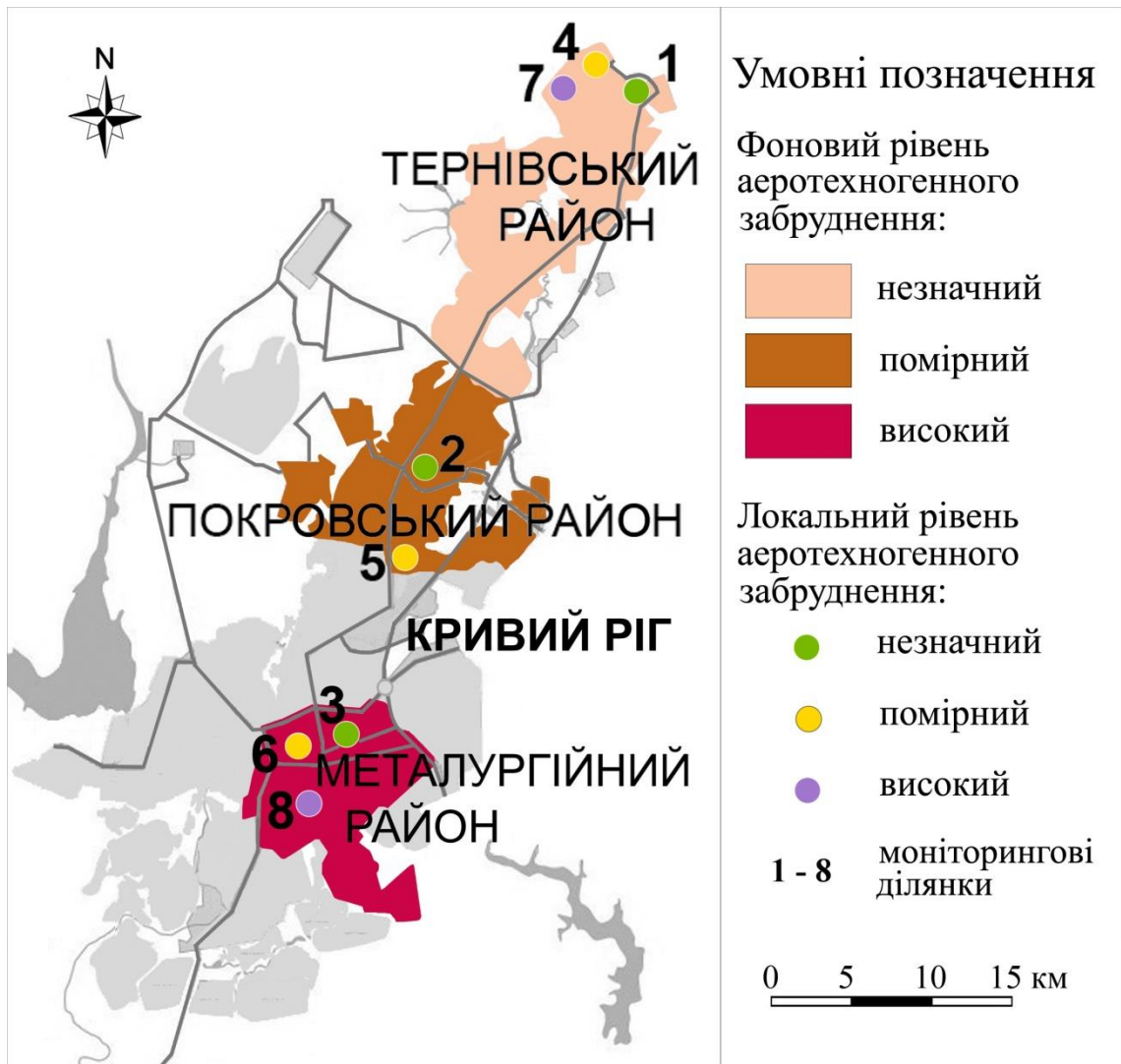


Рис. 2.2. Картосхема розташування моніторингових ділянок на територіях міста Кривого Рогу з різним рівнем забруднення

Моніторингова ділянка № 1. Криворізький ботанічний сад є найбільшим зелененим масивом міста, що знаходиться майже за 50 км на північ від центру Кривого Рогу. Ботанічний сад відкрито у 1989 році. Площа його становить 52,4 га. Територія саду розташована по лівому борту балки Приворотної, що впадає в річку Саксагань. Ботанічний сад оточений житловою забудовою; роза вітрів тут сприяє утворенню локалітету із низьким рівнем забруднення, незважаючи на порівняно невелику відстань від гірничо-збагачувального комбінату. В основному, рух повітряних мас, забруднених викидами ПівнГЗК, відбувається у північному напрямку. Тому ботанічний сад розглядається як ділянка умовного контролю з незначним

рівнем забруднення. Ґрунтовий покрив привододільних елементів ландшафту, де розташовані колекційні ділянки дендрарію, представлений чорноземами звичайними карбонатними середньопотужними середньосуглинистими, що розвиваються на лесоподібних суглинках [130].

Саджанці *P. pungens* (Engelm.) отримані у 1987 р. з м. Бельци (Молдова); *P. glauca* (Moench) Voss. – з Гермаковського лісівництва (Тернопільська обл.). *P. pungens* ‘Glauca’ (Beissn.) та *P. pungens* ‘Coerulea’ (Beissn.) з отримані з м. Бельци (Молдова) та з Гермаковського лісівництва (Тернопільська обл.). Саджанці *P. abies* (L.) Karst.) отримані в 1981 р. з дендропарку «Тростянець» (Чернігівська обл.) та Гермаковського лісівництва (Тернопільська обл.) [156]. Рослини висаджені поодинокі, рядами вздовж алей та куртинами. Модельні екземпляри – 30–40-річні дерева *P. abies* та *P. pungens* зростають у дендрарії на відкритих місцях в рядовому типі насаджень. Деревя обох видів знаходяться в доброму стані в оптимальних екологічних умовах зростання.

Моніторингова ділянка № 2. Парк Шахтарський – центральний парк культури та відпочинку в Покровському районі, повністю структурно та функціонально організований. Був закладений у 1950 році, площа 42,8 га. Північно-східна частина парку розташована на правому березі Кресівського водосховища. Ґрунти представлені комплексами екраноземів, урбоземів, урбаноземів і антропогенно трансформованих ґрунтів, характерними для селитебних територій [50]. Парк Шахтарський розташований поруч із житловим масивом, на великій відстані від «ЄВРАЗ Суха Балка», примикає перпендикулярно до проїзної частини з середньою інтенсивністю автотранспортного руху та характеризується низьким рівнем забруднення. Тобто, екологічні умови тут подібні до таких у ботанічному саду (моніторингова ділянка № 1). Територія парку представлена розвиненою променевою мережею пішохідних доріжок.

Напівзакриті простори зріджених групових насаджень зустрічаються у східній частині парку, а відкриті простори рядових та групових насаджень,

переважно із рівномірним їх розміщенням, поширені у південно-західній та центральній частинах парку. Серед цих насаджень є присутні види *P. abies* та *P. pungens* ‘Glauca’, рідше *P. pungens* та *P. pungens* ‘Coerulea’, які зростають на відстані понад 30–40 м від дороги. Модельні екземпляри 30–40-річні рослини *P. abies* та *P. pungens* зростають в рядовому типі насаджень. Зовнішній вигляд дерев свідчить про їх добрий якісний стан.

Моніторингова ділянка № 3. Парк Героїв АТО – провідний парк Металургійного району. Він знаходиться у південно-східній частині міста; заснований у 1970 р. Площа його невелика – 10,9 га [150]. Цей парк є основним місцем проведення різноманітних районних святкових заходів. На території парку розвинена променева система пішохідних доріжок із сучасним асфальтобетонним покриттям. Парк Героїв АТО розташований напроти Криворізької міської ради, поруч із житловим масивом. Він обмежений по периметру вулицями районного та міського значення, а також примикає до проспекту Металургів – головної магістралі міста, яка характеризується найбільшою кількістю автотранспортного забруднення. Ґрунтовий покрив – комплекси екраноземів, урбоземів, урбаноземів і антропогенно трансформованих ґрунтів [50].

У парку росте понад 50 видів та форм рослин [157]. Помітні ознаки часткового доповнення видового складу, постійного догляду частини, прилеглої до міської ради, яка найбільш пристосована для виконання рекреаційних функцій. Квітничково-декоративне оформлення та газони становлять дуже малу частку відносно загальної площі цього парку. У парку переважають відкриті простори зріджених зелених насаджень у рядовому, груповому або куртининному типах посадки. Насадження *P. abies* та *P. pungens* ‘Glauca’, рідше *P. pungens* та *P. pungens* ‘Coerulea’ розташовані на відстані понад 20–30 м від автошляхів. Досліджувані екземпляри – 30–40-річні дерева *P. abies* та *P. pungens* зростають на відкритому просторі в рядовому типі насаджень. Рослини обох видів ялин знаходяться в доброму стані.

Моніторингова ділянка № 4. Вулиця Черкасова розташована у північній частині міста в Тернівському районі, на значній відстані від потужного джерела забруднення – Північного ГЗК. Це вулиця районного та міського значення (ширина проїзної частини складає 8 м), на якій спостерігається не надто інтенсивний автотранспортний рух (близько 950 авто за годину), тому ділянка характеризується помірним рівнем забруднення. Ґрунти на ділянці належать до відділу техногенних [145] і представлені комплексами екраноземів, переущільнених ґрунтів і субстратів без ознак ґрунтоутворення [50].

Насадження *P. pungens* (разом із формами *P. pungens* ‘Glausa’, *P. pungens* ‘Coerulea’) та *P. abies* утворені рядовими, груповими та куртинними типами на віддаленні 2–6 м від дороги. Модельні екземпляри (30–40-річні рослини) ростуть на відкритому просторі в один ряд вздовж дороги. Деревя обох видів мають добрий стан.

Моніторингова ділянка № 5. Вулиця Ватутіна знаходиться в Покровському районі. Вона примикає перпендикулярно до «ЄВРАЗ Суха Балка» – одного з найбільших підприємств із видобутку залізної руди підземним способом на території України. На цій магістральній вулиці районного та міського значення (з розв'язками у різних напрямках) спостерігається середня інтенсивність автотранспортного руху (близько 1860 авто за годину), тому рівень забруднення можливо вважати за помірний. Ґрунти на моніторинговій ділянці являють собою комплекси екраноземів, переущільнених ґрунтів і субстратів без ознак ґрунтоутворення [50].

Рослини *P. abies* та *P. pungens* ‘Glausa’, рідше *P. pungens* та *P. pungens* ‘Coerulea’ зростають в рядових, групових та куртинних типах насаджень на відстані 1–8 м від дороги. Досліджувані екземпляри 30–40-річних дерев *P. abies* ростуть на відкритому просторі в один ряд по центру розділювальної смуги дороги (довжина насадження сягає 1,5 км), а рослини *P. pungens* – у рядовому та груповому типі насаджень вздовж дороги на

відрізку вулиці довжиною до 600 м. Стан рослин варіює від «здорового» до «пошкодженого».

Моніторингова ділянка № 6. Проспект Металургів – головна магістраль, що знаходиться у південній частині міста в Металургійному районі. Це вулиця районного та міського значення з найбільшою шириною проїзної частини – 15 м з безперервним та напруженим автотранспортним рухом (2728 авто за годину), що у два рази більше порівняно з ділянкою № 5 та у три рази – порівняно з ділянкою № 4. Рівень забруднення: помірний на межі високого. Ґрунти – комплекси екраноземів, переущільнених ґрунтів і субстратів без ознак ґрунтоутворення [50]. Насадження ялин представлені переважно рядовими та, дуже рідко, груповими насадженнями з *P. pungens*, *P. abies* та *P. pungens* ‘Glauca’, віддаленими на 1,5–5 м від дороги. Модельні екземпляри 30–40-річних дерев *P. pungens* ростуть на відкритому просторі в рядовому типі насаджень вздовж дороги (1,5 км у довжину), а *P. abies* – в ряду довжиною 500 м. Стан рослин задовільний.

Моніторингова ділянка № 7. Північний гірничо-збагачувальний комбінат розташований на північній околиці Тернівського району; в межах відносно малозабрудненого району він утворює локус із високим рівнем концентрації аерополітантів. ПівнГЗК – одне з найбільших гірничодобувних підприємств, що виробляє залізорудний концентрат і обкотиші. Об’єм викидів забруднюючих речовин ПівнГЗКа значно менший, ніж комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» (колишнього «Криворіжсталь»), де розташована моніторингова ділянка № 8. Ґрунтовий покрив даної ділянки репрезентований комплексами антропогенно трансформованих і техногенних ґрунтів [50]. Рослини *P. abies* та *P. pungens* ‘Glauca’, рідше *P. pungens* та *P. pungens* ‘Coerulea’ зростають в рядових і групових типах насаджень та складають провідну роль в озелененні промислових територій. Досліджувані екземпляри 30–40-річні дерев *P. abies* та *P. pungens* ростуть на відкритому просторі в рядових та групових типах насаджень біля управління ПівнГЗК,

яке розташоване біля промислових потужностей. Деревя обох видів мають пригнічений стан.

Моніторингова ділянка № 8. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» знаходиться в Металургійному районі міста. Це найбільше підприємство гірничо-металургійного комплексу України, яке є світовим лідером з виробництва сталі. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – «рекордсмен» серед джерел забруднення повітряного басейну міста; таким чином, моніторингова ділянка знаходиться в зоні високого (на межі дуже високого) рівня забруднення. Ґрунти на моніторинговій ділянці належать до комплексів антропогенно трансформованих і техногенних ґрунтів [50, 68]. Насадження ялин представлені рядовими та груповими типами посадки з *P. abies*, *P. pungens* ‘Glausa’, рідше з *P. pungens* і мають значну частку у складі зелених насаджень біля адміністративних корпусів комбінату. Екземпляри 30–40-річні дерев *P. abies* та *P. pungens*, які слугували за модельні, ростуть на відкритому просторі в рядовому типі насаджень біля управління «АрселорМіттал Кривий Ріг», що знаходиться поряд із промисловими потужностями. Стан рослин пригнічений.

Таким чином, моніторингові ділянки репрезентують основні градації атмосферного забруднення на території міста Кривий Ріг: незначний рівень (ділянки №1, № 2 та № 3, з яких перша слугує умовним контролем); помірний рівень, утворений внаслідок автотранспортних викидів (ділянки № 4, № 5 та № 6) і високий рівень, джерелом формування якого є промислові емісії (ділянки № 7 та № 8).

2.4. Об’єкти досліджень

Види роду *Picea* A. Dietr.: *P. abies* (L.) Karst. та *P. pungens* Engelm. належать до родини *Pinaceae* Lindl. [164]. За об’єкти досліджень вони були обрані тому, що є одними з найпоширеніших хвойних в озелененні Кривого Рогу [169].

Ялина звичайна, або європейська (*Picea abies* (L.) Karst.), має широкий природний ареал і відзначається високим рівнем поліморфізму. Вона росте в горах Середньої Європи, у Скандинавії, Карпатах, Поліссі, у північній половині європейської частини Росії [119]. Дерево сягає 20–50 м висоти; стовбур його – до 1 м в діаметрі [166]. В умовах природного ареалу середня тривалість життя *P. abies* досягає до 250–300 років. Крона конусоподібна з віддаленими гілками. Мікростробіли довжиною 20–25 мм, подовжено-циліндричні. Мегастробіли циліндричні, цвітіння починається в травні – червні. Цвісти починають в сприятливих умовах з 15 років, в насадженнях – з 25–30 років. Хвоя довжиною 10–25 мм, товщиною 1–1,5 мм, чотиригранної форми з загостреним кінчиком. На пагонах тримається 6–12 років. Шишки довжиною 10–15 см і товщиною 3–4 см, спочатку світло-зелені, в зрілому стані – світло-бурі з зубчиками, дозрівають в жовтні, але розкриваються у другій половині зими – період розсіювання насіння [166]. Маса 1000 шт насінин 6–8 г. Тіньлюбна, але добре зростає на освітлених місцях. Морозостійка, невимоглива до родючості ґрунту, але надає перевагу зволоженому повітрю.

Масове штучне розповсюдження *P. abies* почалось у ХІХ столітті в Карпатах, коли замість вирубаних дерев для господарських цілей почали завозити саджанці з Європи для відновлення лісів на значних площах. Відомо, що наразі у карпатських лісах досить складно визначити природне чи штучне походження *P. abies* [30]. *P. abies* відзначається найбільшою швидкістю зростання серед ялин. У ХІХ столітті декоративні саджанці *P. abies* різного географічного походження використовували в озелененні парків українських магнатів. Так, на Чернігівщині збереглися дерева ялини, висаджені в панській садибі ще в 1834 р. [101].

Інтродукція *P. abies* у степову зону України фактично була започаткована в другій половині ХХ століття [115]. На південному сході України *P. abies* ще проходить інтродукційне випробування [114]. Деревя даного виду активно використовують в різних типах насаджень, хоча

впродовж останніх років у багатьох регіонах відбувається їх інтенсивне масове всихання [101].

Picea pungens Engelm. – дерево до 20–30 (45) м заввишки, зі стовбуром до 30–60 (100) см у діаметрі, із симетричною конусоподібною кроною. У природних умовах росте в лісовій зоні Скельних гір Північної Америки, де трапляється поодинокі або в невеликих групах на висоті 2000–3500 м н.р.м. вздовж річок [166]. В умовах природного ареалу тривалість життя *P. pungens* досягає до 400–600 років. Зростає повільніше від ялини звичайної. В Європі культивується з середини ХІХ століття; в Україні – з 1858 р. (інтродуценти завезені до Нікітського ботанічного саду). Цвіте в червні, трохи пізніше інших ялин. Володіє високою стійкістю до забруднення середовища. Ялина колюча надзвичайно популярна в міському озелененні, тоді як ялина європейська переважно використовується в лісових культурах України [82].

P. pungens – дуже декоративне дерево, яке часто використовується в паркових ландшафтах і приватних садах [305]. В Україні рекомендують збільшувати асортимент деревних рослин в міських насадженнях культиварами хвойних, що належать до роду *Picea* A. Dietr. [81, 125, 171].

Варто відзначити значну мінливість видів цього роду. Такої різноманітної мінливості (географічної, екологічної, морфологічної і фізіологічної) немає в жодних інших видів ялиць, сосен чи модрин [188]. До найперспективніших відносять культивари *Picea pungens* [99], які позитивно зарекомендували себе в урботехногенному середовищі при інтродукції в регіони з помірним континентальним кліматом [16, 114].

Однією з найпоширеніших декоративних форм ялини колючої є сиза ‘Glausa’ [207, 294], яка була отримана відбором європейськими садівниками [287]. Ялина колюча набула популярності завдяки своєму зовнішньому вигляду і стійкості до низьких температур, сухого повітря і ґрунту, а також завдяки високій толерантності до забруднення повітря [194, 287, 294]. В Колорадо Beadion (1999) встановив, що найбільша кількість ялин із сизим забарвленням хвої характеризується кращим ростом [190]. В Росії

особливою стійкістю в умовах промислового середовища відзначаються ялини сріблястої форми [6, 96]. Хвоя довжиною 30–40 мм щільна, чотиригранна і сильно колюча, тримається від 4 до 9 років. Шишки довжиною 5–10 см і шириною 3–4 см, циліндричні, до дозрівання зеленувато-жовті, зрілі – світло-коричневі з тонкими гнучкими довгасто ромбічними, по краю хвилясто-зубчастими лусками. Маса 1000 шт насінин 4–5 г [166]. Тіньлюбна, але добре росте на сонячних місцях. Морозостійкість висока. Невимоглива до ґрунту, росте на всіх помірно сухих, свіжих ґрунтах, від кислих до лужних.

Нами досліджувалася форма з блакитно-зеленою хвоєю (*P. pungens* 'Glauca'), затим що саме її найчастіше використовують в озелененні як Кривого Рогу, так і інших міст України [105].

Модельні екземпляри *P. abies* та *P. pungens* зростають у сприятливих по освітленості умовах. На моніторингових ділянках 2–8 на промислових територіях досліджувані екземпляри *P. abies* та *P. pungens* знаходяться у подібних до умовного контролю (м.д. 1. – ботанічний сад) місцезростаннях і мають стан від доброго до пошкодженого.

2.5. Методи досліджень

Дослідження біометричних показників 30–40-річних дерев *P. abies* та *P. pungens* проводили маршрутно-польовим методом. Досліджувалася форма з блакитно-зеленою хвоєю (*P. pungens* 'Glauca'), оскільки саме вона набула значного поширення в озелененні як Кривого Рогу, так і інших міст України [16, 105]. При вивченні поширення ялин в озелененні провідних вулиць м Кривий Ріг досліджували *P. abies* та *P. pungens* від загальної кількості рослин роду *Picea*. Під час досліджень вимірювали діаметр стовбура на рівні 1,3 м, висоту й діаметр крони (схід-захід, південь-північ). Для виміру діаметра (з точністю до 0,5 см) використовували мірну вилку. Висоту стовбура знаходили за допомогою маятникового висотоміра Макарова (ВМ) (з точністю 0,5 м) [4, 7].

Площу проєкції та об'єм крони вивчали за формулами A.V. Laar і A. Akça [247]

$$S = \frac{d^2 \times \pi}{4}$$

$$V = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times l$$

де S – площа проєкції крони;

V – об'єм крони;

d – діаметр крони;

l – довжина крони;

π – 3,14.

Життєвий стан визначали за загальноприйнятою 5-ти бальною шкалою В.Т. Ярмішко [177]

I бал – «здорове дерево»;

II – «пошкоджене»;

III – «сильно пошкоджене»;

IV – «відмираючі»;

V – «свіжий та старий сухостій».

Життєздатність – здатність рослин зберігати своє існування у мінливих умовах середовища, що проявляється у певній інтенсивності обміну речовин, росту та розвитку рослин [54]. Середні показники життєвого стану нами перераховано у відсотки: I бал – (80–100%), II бали (60–80%), III бали (40–60%), IV (20–40%) та V бали (0–20%). Орієнтовний вік хвойних визначали за кількістю мутовок та за зовнішніми ознаками дерева: кольором хвої, формою крони, висотою дерева та діаметром стовбура [7].

Вміст пігментів визначали у хвої другого року життя дерев *P. abies* та *P. pungens*, яку відбирали протягом вегетаційного періоду 2017 р. Методично доцільним вважається використання для дослідів хвої саме такого віку, яка, з одного боку, вже повністю розвинена і стабільна, а з іншого – не демонструє

ніяких ознак старіння [335]. Особливості дворічної хвої, яка відбиралася для аналізів, визначали погодні умови вегетаційного періоду 2017 року. Температура повітря відносно багаторічних середньомісячних показників фактично була в нормі: 15,5°C (травень) – 24,4°C (серпень). Максимальне відхилення температури від норми перевищувало багаторічні показники на +3,2°C в серпні. Найбільша вологість повітря була в липні та становила 86% від норми, найменша – 42% (у червні). Посушливі періоди чергувалися з дощовими. Кліматичних аномалій, здатних суттєво змінити вихідні пропорції вмісту окремих компонентів у пігментному комплексі, не спостерігалось.

Хвою *P. abies* і *P. pungens* збирали по 5 зразків з 10 дерев із кожної ділянки. Для визначення вмісту пігментів брали середню пробу в п'ятикратній повторювальності: до 0,1 г подрібненого рослинного матеріалу додавали 2 мл диметилсульфоксиду (ДМСО), а потім три години витримували на водяній бані при температурі 67°C. В отриманому екстракті проводили вимірювання за допомогою спектрофотометра СФ–2000 при довжині хвилі 665 і 649 мкм – для хлорофілів *a* і *b* відповідно, 480 мкм – для каротиноїдів. Вміст пігментів обчислювали за наступними формулами А.Р. Wellburn [330]

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

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

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

де *C* – вміст пігментів, мг/мл.

Вміст пігментів в рослинному матеріалі (мг/г сирої маси) розраховували за рівнянням М.М. Мусяєнко та ін. [108]

$$A = (C \times V) / (H \times 1000)$$

де *C* – вміст пігментів;

V – об'єм екстракту, мл;

H – наважка рослинного матеріалу, г.

Для анатомо-морфологічних досліджень відбирались зразки хвої, які відбирали по 100 шт з дерев обох видів на висоті 2 м від земної поверхні з

кожної із 8 ділянок, а також вимірювали довжину пагонів другого порядку незрізаючи їх. Ширину та товщину визначали на зрізах в центральній частині хвоїнки під мікроскопом БІОМЕД–4 біноккуляр за збільшення 4×7. Зрізи робили з використанням ручного мікротома МС–2. Особливості анатомічної будови дворічної хвої вивчали на тимчасових препаратах, виготовлених за загальноприйнятими методами [10]. Вивчення абсолютно сухої маси хвої було проведено в сушильній шафі при $t\ 105\ ^\circ\text{C}$, протягом 24 години. Відсоток вологи хвої вивчали за рекомендаціями С.А. Шевченко та Т.М. Сагайдачної [167].

Наявність некрозу і хлорозу хвої визначали за класифікацією Е.І. Jäger [228]. Класи ушкодження:

- 1 - хвоїнки без плям;
- 2 - з невеликим числом дрібних цяток;
- 3 - з великою кількістю чорних плям.

Класи всихання хвої:

- 1 - немає сухих ділянок;
- 2 - сухий кінчик довжиною 2–5 мм;
- 3 - всохла 1/3 частина хвої;
- 4 – більше половини або вся хвоїнки жовта (суха).

Периметр поперечного зрізу хвої вивчали за формулою Тірена [24]

$$\Pi = 2 \sqrt{a^2 + b^2}$$

де Π – периметр поперечного зрізу;

a – товщина;

b – ширина хвоїнки.

Площу поверхні хвої вивчали по формулі Л.А. Іванова [162]

$$S = 2l \sqrt{a^2 + b^2}$$

де S – площа поверхні;

l – довжина хвої;

a і b — ширина і товщина хвої.

Абсолютну вологість визначали за формулою С.А. Шевченко та Т.М. Сагайдачної [162]

$$W_a = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100\%$$

де W_a – абсолютна вологість, %;

m – маса зразка у вологому стані, г;

m_o – маса того ж зразка, висушеного до постійного значення.

Матеріалом для досліджень був свіжозібраний пилок *P. abies* та *P. pungens* в період масового розкриття стробілів навесні 2016 р. Погода під час збирання пилку була тепла, без дощу. Зібраний пилок по 3 зразки з 10 дерев *P. abies* і *P. pungens* поміщали в кульки з кальки і зберігали в ексикаторі у холодильнику.

У 100 пилкових зерен одного зразка визначали морфометричні параметри тіла й повітряних мішків, вимірювали мікрометром їх ширину й довжину, виявляли відносну кількість і спектр аномалій пилку. Ці дослідження проводили з використанням мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (збільшення 40×10). Морфометричні показники пилку встановлювали в програмі *AxioVision*.

Вміст крохмалю в пилку як показник його фертильності визначали в розчині ацетокарміну за інтенсивністю забарвлення [113]. Життєздатність пилку (у трьох повторностях) встановлювали шляхом пророщування у 15%-ому розчині сахарози при температурі 25°C, через 2–3 дні підраховуючи кількість зерен (у %), які утворювали пилкові трубки. У 100 пророслих пилкових зерен вимірювали довжину (у мкм) пилкових трубок. Типи аномалій пилку та пилкових трубок у рослин *P. abies* і *P. pungens* визначали за класифікаціями, наведеними в роботах [62, 74, 110, 151].

Насіння і шишки рослин *P. abies* та *P. pungens* ‘Glausa’ досліджували в період масового дозрівання насіння восени 2017 р. Морфометричні параметри шишок (довжина і ширина) та довжина проростків насіння вимірювались за допомогою штангенциркуля (точність вимірювання 0,1 см).

Підраховували загальну кількість лусок та окремо стерильного і фертильного шару, в останньому випадку визначали кількість повнозрілого, порожнього і недорозвиненого насіння. Потенційну насінневу продуктивність (ПНП) визначали за кількістю насінних зачатків в макростробілах на рослині, фактичну (ФНП) – за кількістю дозрілого (повного) насіння; коефіцієнт продуктивності (КП) – як співвідношення ФНП до ПНП, виражене у відсотках.

Схожість насіння досліджували за ГОСТом 13056.6-97 [32]. Для проведення аналізу з насіння досліджуваних видів відбирали підряд 5 проб по 100 насінин у кожній. Перед пророщуванням в чашках Петрі насіння піддавалося стандартній обробці (стратифікація і знезараження 0,01% розчином перманганату калію). На одне ложе для пророщування розкладали по 100, 50, 25 і менше насіння в залежності від розміру, не допускаючи їх зіткнення. Субстратом для ложе насіння слугував фільтрувальний папір. Кожну пробу насіння нумерували, проставляючи на чашці Петрі олівцем її порядковий номер. Першим днем пророщування вважали день, наступний після дня розкладки. Закінчення пророщування для *P. abies* та *P. pungens* був останній день (15 та 20 відповідно) обліку схожості насіння, а енергію проростання визначали на 7 день для обох видів ялин. При пророщуванні насіння підтримували необхідну температуру 25°C та перевіряли зволоженість насіння. Схожість та енергію проростання обчислювали як середнє арифметичне результатів пророщування окремих проб насіння і виражали у відсотках. При визначенні схожості насіння розбіжність між результатами пророщування їх окремих проб була не більше табличного значення (табл. 2.3).

Енергію проростання (Еп) обчислювали за формулою:

$$E_p = \frac{n^{1/2}}{N} \times 100\%$$

де $n^{1/2}$ – кількість насіння, яке проросло за половину періоду пророщування [32].

Таблиця 2.3

Допустимі розбіжності між показниками при пророщуванні насіння

Середнє арифметичне значення схожості насіння	Допустиме розходження між результатами за п'ятьма пробами	Середнє арифметичне значення схожості насіння	Допустиме розходження між результатами за п'ятьма пробами
99; 2	6	81–83; 18–20	16
98; 3	7	78–80; 21–23	17
97; 4	8	77; 24	17
96; 5	9	73–76; 25–28	18
95; 6	10	71–72; 29–30	18
93–94; 7–8	11	67–70; 31–34	19
91–92; 9–10	12	64–66; 35–37	19
89–90; 11–12	13	56–64; 38–45	20
87–88; 13–14	14	51–55; 46–50	20
84–86; 15–17	15		

Масу 1000 насінин встановлювали шляхом зважування на електронних вагах з точністю до 0,001 г (KERN ABJ 220–4M). Врожайність шишок вивчали методом візуальної оцінки врожайності за 5-бальною шкалою В.Г. Каппера [65]:

- 0 – неврожай;
- 1 – дуже поганий врожай;
- 2 – слабкий врожай;
- 3 – середній врожай;
- 4 – хороший врожай;
- 5 – дуже хороший врожай.

Для визначення загальної декоративності видів роду *Picea* використали методику Н. В. Котелової та О. Н. Виноградової у модифікації для хвойних І. В. Таран і А. М. Агапової [77]. За 5-бальною шкалою декоративність складається з чотирьох компонентів:

- a_1 – архітектоніка крони (перевідний коефіцієнт $P_1 = 4$);
- a_2 – забарвлення хвої ($P_2 = 3$);

a_3 – розмір шишок ($P_3 = 2$);

a_4 – структура та колір кори ($P_4 = 1$).

Загальну оцінку декоративності визначали за формулою:

$$P_{\text{заг}} = \frac{\sum aP}{\sum P}, \text{ або } P_{\text{заг}} = \frac{P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3 a_3 + P_4 a_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}$$

де: $a_1 \dots a_4$ – бали оцінки за кожною з виділених ознак; $P_1 \dots P_4$ – перевідні коефіцієнти, що визначають значущість кожної ознаки.

1 – декоративність слабка (менше 2 бали);

2 – декоративність посередня (2,1–3 бали);

3 – декоративність достатня (3,1–4 бали);

4 – декоративність висока (4,1–5 балів).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакету програм MS Excel, істотність різниць було визначено за t -критерієм Стьюдента [56].

Порівняння середніх показників здійснювали по формулі:

$$|t| = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

з числом ступеня свободи: $v = N_1 + N_2 - 2$; де m_1, m_2 – похибки порівнюючих середніх арифметичних M_1 і M_2 з обсягом вибірок N_1 і N_2 .

РОЗДІЛ 3

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

Інтродуценти *Picea abies* та *P. pungens* у Кривому Розі почали активно використовувати в озелененні наприкінці 70-х та у 80-х роках ХХ століття. Наразі обидва види – досить розповсюджені види у місті, а одним із найпоширеніших типом насаджень є куртини [39, 40]. Попередні дослідження *P. abies* та *P. pungens* у м. Кривий Ріг носили фрагментарний характер, що недостатньо для надійного прогнозу подальшого використання цих видів в оптимізації Криворізької урбоєкосистеми [141]. Тому для подальшого залучення видів роду *Picea* A. Dietr. в озеленення важливо знати їх еколого-біологічні особливості зростання не тільки в рекреаційних зонах міст, а і в вуличних насадженнях біля автошляхів та біля промислових підприємств, у групових, куртинних посадках, де ялини досить часто використовуються.

3.1. Поширення і вік насаджень *P. abies* та *P. pungens* у різних районах міста Кривий Ріг

В ході проведеного дослідження виявлено, що в озелененні провідних вулиць м. Кривий Ріг серед усіх хвойних найбільшого поширення набували види роду *Picea*: *P. abies* – 52,9% у Покровському районі та *P. pungens* – 66,1% у Металургійному районі (рис. 3.1–3.3). Відмічено, що вид *P. pungens* та його форми (2175 шт) частіше використовують у зеленому будівництві, ніж *P. abies* (1654 шт); у насадженнях трьох досліджених районів міста частка *P. pungens* складає 56,4% від загальної кількості рослин роду *Picea*, тоді як *P. abies* – 43,6%.

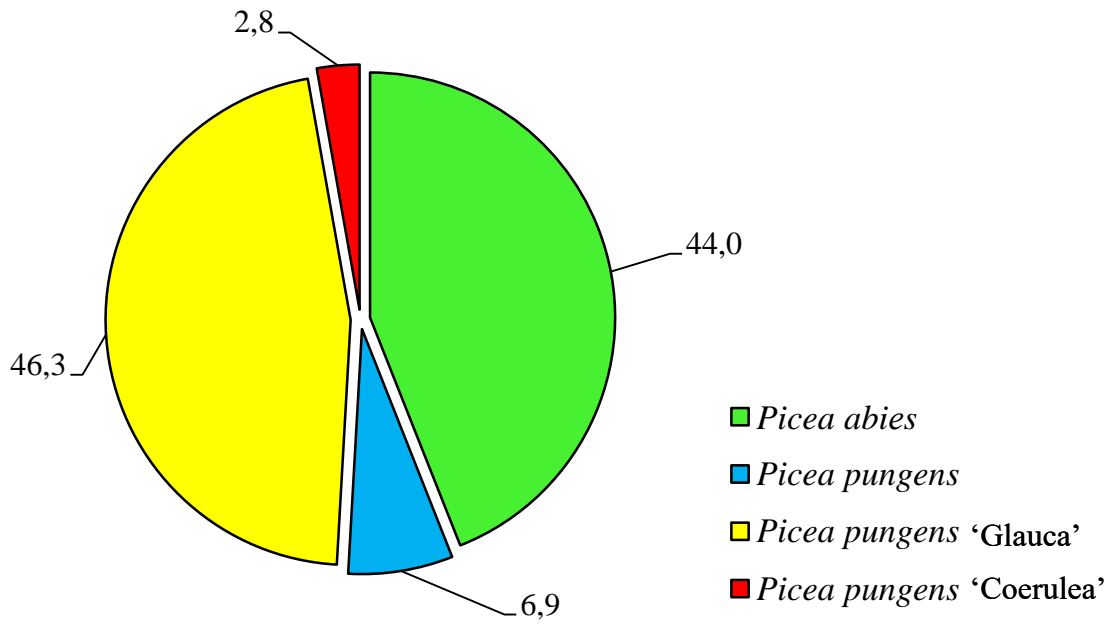


Рис. 3.1. Участь особин роду *Picea* у насадженнях Тернівського району Кривого Рогу

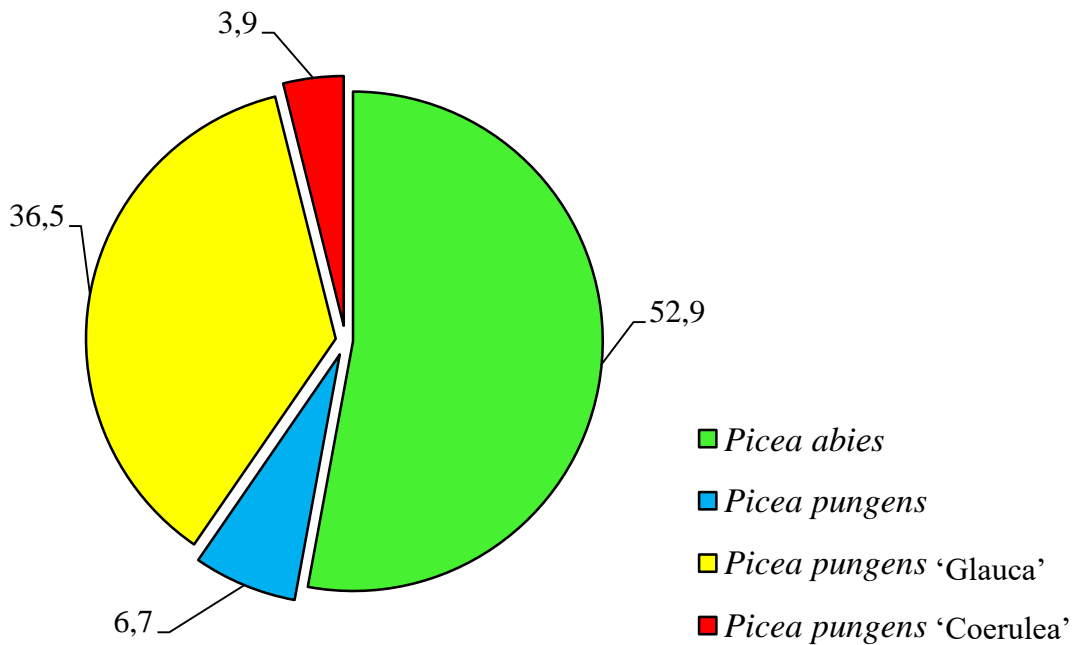


Рис. 3.2. Участь особин роду *Picea* у насадженнях Покровського району Кривого Рогу

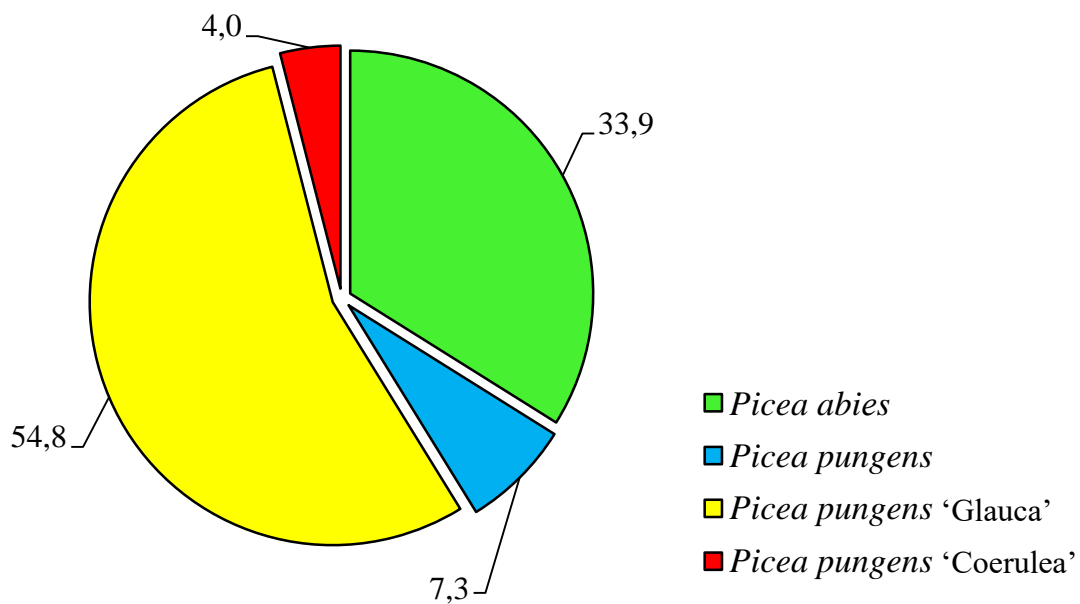


Рис. 3.3. Участь особин роду *Picea* у насадженнях Металургійного району Кривого Рогу

Показники стану і декоративності насаджень у значній мірі залежать від віку рослин. Аналіз розподілу дерев за віковими групами дозволяє виявити закономірності розвитку насаджень і розробити систему заходів щодо попередження пошкодження порід, спрямовану на підвищення декоративності хвойних.

За результатами аналізу у різних типах насаджень у трьох адміністративних районах м. Кривий Ріг виявлено дерева *P. abies*, *P. pungens*, *P. pungens* 'Glauca' та *P. pungens* 'Coerulea' віком від 10 до 55 років.

Найчисленнішою є вікова група 30–40 років для *P. abies* (66,2% від загальної кількості дерев) в Покровському районі та для *P. pungens*, *P. pungens* 'Glauca' та *P. pungens* 'Coerulea' (74,5%; 67,6%; 71,7% від загальної кількості дерев відповідно) в Металургійному районі (табл.3.1–3.4). Досить значні за кількістю і «молодші» вікові групи для *P. abies*: 10–20 років – 2,1–5,3%; 20–30 років – 12,1–25,4%; 30–40 років – 59,4–66,2%; 40–50 років – 9,9%–16,8% та для *P. pungens* 'Glauca': 10–20 років – 6,7–8,3%; 20–30 років – 12,2–28,1%; 30–40 років – 55,9–67,6%; 40–50 років – 9,3%–11,1%. Кількість

дерев у *P. abies* та *P. pungens* 'Glauca', вік яких перевищує 50 років, складає 0–0,8% та 0,8–1,1% від загальної кількості, у міру збільшення віку кількість дерев різко скорочується.

Таблиця 3.1

Вік *Picea abies* у насадженнях різних районів міста Кривого Рога

Адміністративний р-н міста	Вікові категорії, роки	Кількість дерев, шт.	%
Тернівський	10–20	12	2,1
	20–30	125	21,4
	30–40	380	65,2
	40–50	61	10,5
	>50	5	0,8
	Усього	583	100,0
Покровський	10–20	30	4,9
	20–30	75	12,1
	30–40	409	66,2
	40–50	104	16,8
	>50	0	0
	Усього	618	100,0
Металургійний	10–20	24	5,3
	20–30	115	25,4
	30–40	269	59,4
	40–50	45	9,9
	>50	0	0
	Усього	453	100,0

Таблиця 3.2

Вік *Picea pungens* у насадженнях різних районів міста Кривого Рога

Адміністративний р-н міста	Вікові категорії, роки	Кількість дерев, шт.	%
Тернівський	10–20	2	2,2
	20–30	16	17,6
	30–40	65	71,4
	40–50	8	8,8
	>50	0	0
	Усього	91	100,0

Покровський	10–20	3	3,8
	20–30	15	19,0
	30–40	49	62,0
	40–50	12	15,2
	>50	0	0
	Усього	79	100,0
Металургійний	10–20	4	4,1
	20–30	9	9,2
	30–40	73	74,5
	40–50	12	12,2
	>50	0	0
	Усього	98	100,0

Таблиця 3.3

Вік *Picea pungens* 'Glauca' у насадженнях різних районів міста Кривого Рога

Адміністративний р-н міста	Вікові категорії, роки	Кількість дерев, шт.	%
Тернівський	10–20	45	7,3
	20–30	98	16,0
	30–40	397	64,8
	40–50	68	11,1
	>50	5	0,8
	Усього	613	100,0
Покровський	10–20	35	6,7
	20–30	148	28,1
	30–40	294	55,9
	40–50	49	9,3
	>50	0	0
	Усього	526	100,0
Металургійний	10–20	61	8,3
	20–30	89	12,2
	30–40	495	67,6
	40–50	79	10,8
	>50	8	1,1
	Усього	732	100,0

Таблиця 3.4

Вік *Picea pungens* 'Coerulea' у насадженнях різних районів
міста Кривого Рога

Адміністративний р-н міста	Вікові категорії, роки	Кількість дерев, шт.	%
Тернівський	10–20	2	5,3
	20–30	7	18,4
	30–40	25	65,8
	40–50	4	10,5
	>50	0	0
	Усього	38	100,0
Покровський	10–20	5	11,1
	20–30	6	13,3
	30–40	31	68,9
	40–50	3	6,7
	>50	0	0
	Усього	45	100,0
Металургійний	10–20	3	5,7
	20–30	8	15,1
	30–40	38	71,7
	40–50	4	7,5
	>50	0	0
	Усього	53	100,0

Отже, у віковій структурі хвойних насаджень простежується тенденція до збільшення частки молодих і середньовікових дерев і зменшення частки старовікових.

3.2. Біометрична характеристика та життєвий стан рослин в умовах урбосередовища

Для характеристики деревостанів найчастіше використовують такі параметри: висота дерева, ширина (діаметр) крони, висота основи крони, площа проєкції та об'єм крон [235, 278, 298]. На сьогодні 35–40-річні дерева *P. abies* та *P. pungens* із насаджень контролю за всіма біометричними

показниками переважали над деревами такого самого віку з інших досліджуваних насаджень ялини м. Кривого Рогу (рис. 3.4). 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. 3.5). Відмічено, що дерева можуть досягати більших розмірів у межах їх природного ареалу, ніж в умовах регіону інтродукції [260, 261].

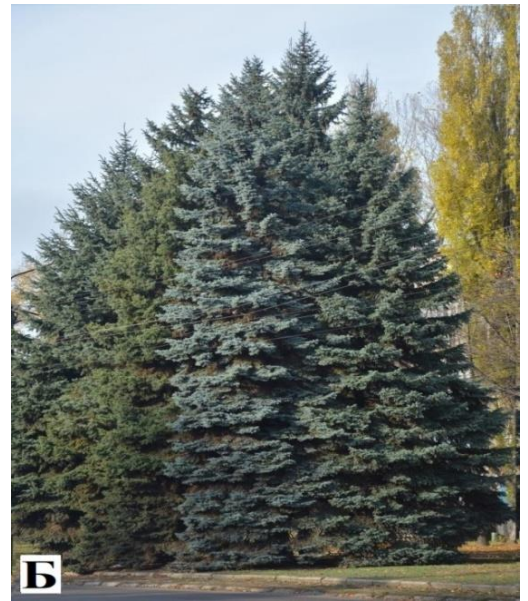
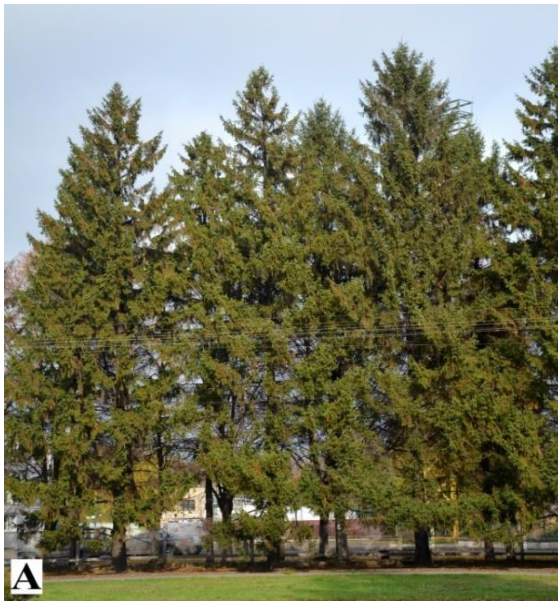


Рис. 3.4. Рослини *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б), що зростають на ділянках із незначним рівнем забруднення; рослини *Picea abies* (В) та *Picea pungens* (Г), які зазнають суттєвого аеротехногенного впливу

Таблиця 3.5

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. 3.5–3.6 та . 3.9–3.10: 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 (табл. 3.5). Очевидно, це є наслідком негативного хронічного впливу на рослини атмосферних викидів великих промислових підприємств [37, 72, 169].

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. Деяко більші показники відмічені в дерев на моніторинговій ділянці 4, проте і вони суттєво зменшені відносно параметрів насаджень контролю. У дерев, що знаходяться на відстані 1–3 м від автошляху, особливо чіткі відмінності спостерігались у параметрах проєкції та об'єму крон. Крім цього, в насадженнях екотопів із високим та помірним рівнем навантаження спостерігається зменшення діаметру стовбура і погіршення стану крони ялин.

Для росту і розвитку дерев важливе значення мають розміри їх крон, оскільки крона є носієм асиміляційного апарату дерев, у якому відбувається більшість фізіологічних процесів, що забезпечують життєдіяльність рослин. У ході наших досліджень було відмічено, що у дерев *P. abies* та *P. pungens*, висаджених на ділянках із незначним рівнем забруднення, нижній край крони розташований на висоті 0,5–1,0 м від землі, а за умов помірного та високого рівня аеротехногенних викидів – від 3 м і більше. Негативний вплив викидів промислових підприємств і вихлопних газів автотранспорту у повітря 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 моніторингових ділянках 4, 5, та 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 промислових викидів 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. Помітно, що відсоток суховершинних дерев *P. abies* переважає над часткою їх у *P. pungens* у всіх типах насаджень.

Таким чином, токсичні викиди промислових підприємств та вихлопних газів автотранспорту негативно впливають на ріст і розвиток *P. abies* та *P. pungens* у м. Кривий Ріг. Зелені насадження в містах потрібні для того, щоб покращувати умови навколишнього середовища, але нерідко ці рослини самі потребують покращення умов агротехніки зростання та догляду.

Життєвий стан рослин залежно від аеротехногенного навантаження варіює від „здорових” (80–100%) до „відмираючих” (20–40%) [36, 43]. Сильна загущеність дерев у групових та рядових посадках призводить до порушення нормального росту і розвитку рослин: з віком у таких дерев формуються зріджені, деформовані крони. Найнижчі характеристики життєвого стану властиві для дерев *Picea*, які зростають в насадженнях із помірним та високим рівнем забруднення, де відмічено найбільшу кількість „сильно пошкоджених” та „відмираючих” дерев (рис. 3.5). Так, наприклад, життєвий стан у *P. abies* та *P. pungens* що піддавались надмірному техногенному впливу у 2,3 та 1,7 разів гірший, ніж у рослин контролю. Найвищі показники життєвого стану мають дерева *P. pungens* та *P. abies*, які зростають поодинокі в умовах незначного рівня забруднення. Дерев обох видів мають гарний стан, яскраве забарвлення хвої, рівні стовбури та щільні пірамідальні крони, які добре охоєні.

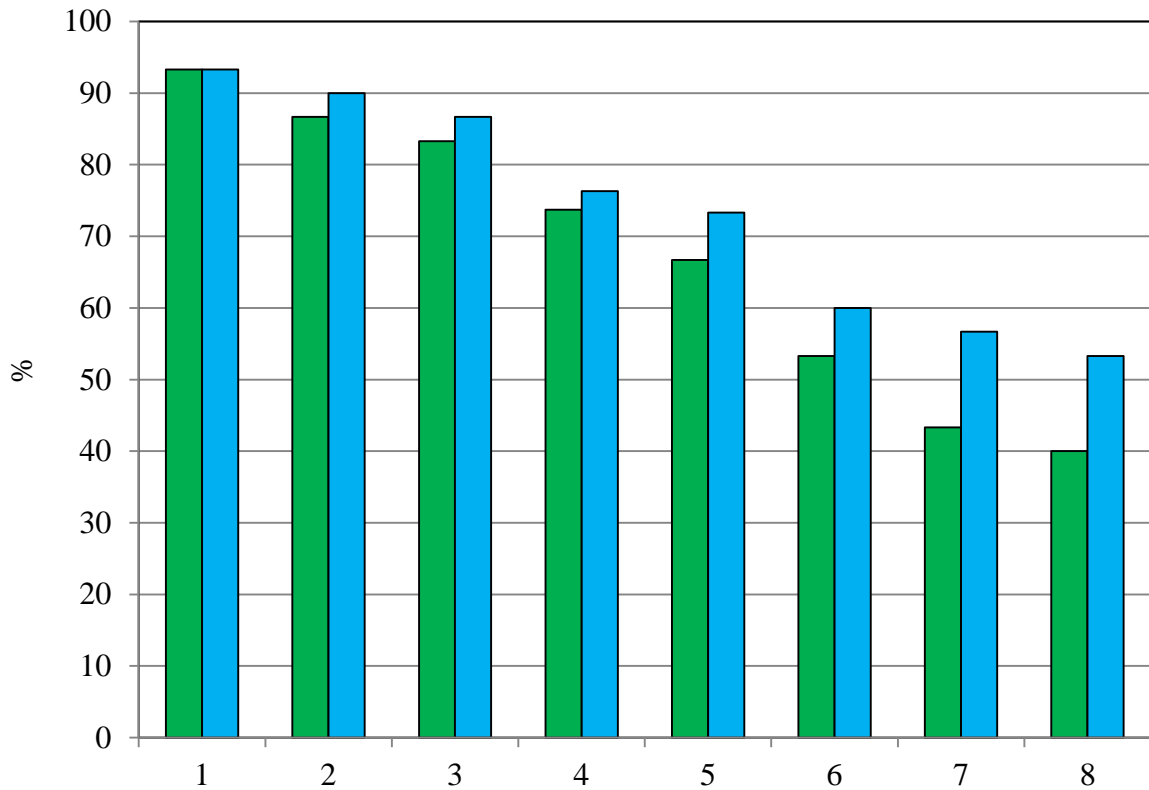


Рис. 3.5. Середній показник життєвого стану дерев *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ за умов різнорівневого забруднення

Назви моніторингових ділянок: 1 – КБС, 2 – парк Шахтарський, 3 – парк Героїв АТО, 4 – вул. Черкасова, 5 – вул. Ватутіна, 6 – проспект Металургів, 7 – «ПівнГЗК», 8 – «АрселорМіттал Кривий Ріг»

На основі біометричних досліджень та оцінки життєвого стану виявлено, що дерева *P. pungens* при усіх рівнях забруднення мають вищі якісні характеристики життєвого стану у порівнянні з насадженнями *P. abies*, для яких умови зростання менш сприятливі. *P. pungens* має ряд переваг з точки зору доцільності використання в озелененні: вищу декоративність, невибагливість до водопостачання в умовах посушливого клімату та більшу стійкість до аеротехногенного забруднення. У рослин обох видів найкращі біометричні показники та життєвий стан відмічено в насадженнях із незначним рівнем забруднення, а найгірші – на ділянках із помірним та високим рівнем навантаження.

3.3. Життєздатність дерев у куртинному типі посадки

У Кривому Розі нами не виявлено старовікових посадок *P. abies* та *P. pungens*, проведених у першій половині ХХ століття. Цей вид почали активно використовувати в озелененні міста в кінці 70-х та 80-х роках ХХ ст.

Висадка рослин здійснювалась переважно невеликими куртинами з різною відстанню між рослинами, групами, рядовими посадками; окремі дерева зростають на територіях біля багатопверхових будинків. Куртиною вважається груповий тип посадки, до складу якого входить більше ніж 10 дерев однієї породи [165]. Проте, недотримання правил та вимог при створенні куртинних насаджень призводить до порушення росту та розвитку дерев [227]. Особливо, це помітно в куртинах, які складаються з більшої кількості дерев, ніж групові. Тому важливо дослідити біометричні показники дерев в куртинах та оцінити їх життєвий стан, що допоможе надати рекомендації для правильного культивування ялин у подальшому.

Куртинний тип насаджень *P. abies* та *P. pungens* є досить розповсюдженим у Кривому Розі. Так, в одному із семи районів міста виявлено 10 моновидових куртин *P. abies*, 14 моновидових куртин *P. pungens* і більше 45 невеликих групових посадок з кількістю рослин менше 10. У куртинах *P. abies* кількість дерев варіювала від 10 до 24, а в куртинах *P. pungens* вона становила від 11 до 46; при цьому площа самих куртин першого виду становила 10–160 м², а другого – 25–240 м² (табл. 3.6–3.7). В одній куртині висаджувалися одновікові дерева; вік обстежених куртин становить 15–37 років. Рослини в даному типі насаджень висаджувались, як правило, на незначній відстані одна від одної (0,5–4,5 м), у той час як за правилами мінімальна дистанція між ними повинна перевищувати 4–8 м [100]. Від правильного вибору площі живлення залежить декоративність дерева. При надмірно густому розміщенні рослин конкуренція за ресурси (світло, вологу і поживні речовини) між особинами посилюється. За таких умов хвоя нижніх затінених гілок передчасно опадає, уповільнюється їх розвиток.

Усі 24 обстежені куртини знаходились на близькій відстані (2–14 м) від центральних автошляхів району. Наймолодші 15-річні рослини першої куртини *P. pungens* відзначались найменшими біометричними характеристиками, їх висота в середньому становила 5,6 м, а діаметр стовбура – 12,2 см; найстаріші (37-річні) дерева мали найбільші біометричні показники: їх висота в середньому становила 10,2 м, а діаметр стовбура – 24,3 см.

Наймоладші 24-річні рослини *P. abies* у складі першої куртини також відзначались найменшими біометричними параметрами. Висота їх в середньому становила 9,4 м, а діаметр стовбура – 13,4 см. Найстаріші (35-річні) дерева характеризувались найбільшими біометричними показниками: середня висота – 12,5 м, середній діаметр стовбура – 26,1 см. У найрозвиненіших дерев *P. abies* віком 40 років, які виявлені в одному з парків м. Кривого Рогу, середня висота становила 16 м, а діаметр стовбура на рівні 1,3 м дорівнював 36 см, на рівні кореневої шийки – 50 см. А у 40-річних дерев *P. pungens* відповідно висота становила 14 м, а діаметр стовбура на рівні 1,3 м був 42 см, а на рівні кореневої шийки – 55 см. Доречно зазначити, що 36-річні дерева *P. abies* у Маяцькому лісівництві Донецької області мали приблизно таку ж середню висоту при діаметрі стовбура 28 см [115]. Більш активний радіальний приріст рослин видів роду *Picea* в урбаністичному середовищі можна пояснити тим, що в лінійних насадженнях міста їм більше дістається сонячного світла, ніж у лісі.

Середній показник життєвого стану рослин *P. abies*, не пошкоджених суховершинністю, в 10 куртинах варіював від 35 до 78%, а у *P. pungens* відповідно в 14 куртинах варіював від 31 до 72%. Слід відзначити, що дерева куртин *P. abies* та *P. pungens*, які мали низькі показники життєвого стану – 31–58% та 37–59% мало відрізнялись за біометричними характеристиками від дерев з кращим рівнем життєвості – 61–70% та 65–72%. Із загальної кількості дерев (154) *P. abies* у 10 моновидових куртинах, що досліджувались, 63 дерева є суховершинними, що становить 40,9%. А у

рослин *P. pungens*: 280 дерев у 14 моновидових куртинах, суховершинність виявлена у 97 дерев, що складає 34,6%.

Таблиця 3.6

Біометричні показники *Picea abies* в куртинних насадженнях біля автодоріг у Покровському районі м. Кривий Ріг

№ куртин	Загальна кількість дерев	Вік дерев	Розміри куртин, $b \times l$, м ²	Схема розміщення дерев min \times max, м	Відстань дерев від дороги, м	Висота дерев (h), м	Діаметр стовбура (D), см	Середній показник життєвого стану
1	17	24	9 \times 10	1 \times 4	10	9,4 \pm 0,7	13,4 \pm 1,6	70
2	24	25	10 \times 18	0,5 \times 3	7	10,3 \pm 0,4	15,7 \pm 1,5	51
3	13	27	5 \times 7	2 \times 3,5	8	10,7 \pm 0,5	18,1 \pm 1,8	65
4	10	28	4 \times 4	0,5 \times 2	4	10,8 \pm 0,8	20,5 \pm 2,3	35
5	21	30	10 \times 15	2 \times 3,5	5	11,3 \pm 0,6	22,4 \pm 1,4	58
6	13	33	5 \times 6	2 \times 4	9	11,4 \pm 0,4	24,5 \pm 1,5	55
7	14	33	7 \times 8	3 \times 4,5	12	11,6 \pm 0,3	24,6 \pm 1,7	61
8	13	34	7 \times 7	1 \times 3	6	12 \pm 0,3	25,2 \pm 1,6	31
9	15	34	7 \times 6	2 \times 4	7	12,2 \pm 0,6	25,4 \pm 1,1	50
10	14	35	5 \times 6	2 \times 3,5	5	12,5 \pm 0,3	25,7 \pm 1,6	56
Разом	154							

Таблиця 3.7

Біометричні показники *Picea pungens* в куртинних насадженнях біля автодоріг у Покровському районі м. Кривий Ріг

№ куртин	Загальна кількість дерев	Вік дерев	Розміри куртин, $b \times l$, м ²	Схема розміщення дерев min \times max, м	Відстань дерев від дороги, м	Висота дерев (h), м	Діаметр стовбура (D), см	Середній показник життєвого стану
1	25	15	7 \times 15	1,5 \times 4	8	5,6 \pm 0,5	12,2 \pm 0,7	67
2	15	20	5 \times 7	1 \times 3	10	7,3 \pm 0,4	15,5 \pm 1,7	72
3	13	22	4 \times 6	1 \times 3,5	7	7,5 \pm 0,7	17,1 \pm 1,3	65
4	21	23	6 \times 8	0,5 \times 4	9	7,7 \pm 0,6	17,3 \pm 1,6	37
5	20	25	8 \times 13	2 \times 3,5	6	8 \pm 0,5	17,5 \pm 1,6	65

Продовження табл. 3.7

6	12	27	5×6	2×4	8	8,5±0,6	18,5±1,9	69
7	24	29	8×8	2×4,5	11	8,6±0,5	19,7±1,4	55
8	16	30	8×7	1×3	10	8,5±0,5	20,1±1,6	43
9	29	31	9×6	2×4	6	8,6±0,4	20,6±1,2	63
10	15	32	5×6	2×3,5	5	9,1±0,4	21,3±1,6	58
11	18	33	5×6	2×3,5	9	9,3±0,4	22,1±1,3	55
12	13	34	4×5	1,5×3,5	4	9,4±0,7	22,3±1,9	57
13	46	35	10×12	2×3,5	10	9,5±0,3	23,1±0,8	59
14	13	37	4×5	1,5×3,5	4	10,2±0,5	24,3±1,5	54
Разом	280							

Таким чином, близько 40% дерев *P. abies* та *P. pungens* (15–37 років), що ростуть у куртинах біля центральних автомобільних доріг м. Кривого Рогу, мають пошкодження. Очевидно, це пов'язано не тільки з дією токсичних вихлопних газів автотранспорту, а з комплексом несприятливих умов урботехногенного середовища та наслідками глобальних кліматичних змін, які супроводжуються в цьому регіоні посухами тривалістю 2–3 місяці, високими температурами наприкінці літа та на початку осені. У травні–червні насадження *P. abies* та *P. pungens* у місті відзначаються задовільним рівнем життєвого стану, а в другій половині літа через посухи та недостатню кількість опадів багато дерев знаходяться у пригніченому стані. За нашими спостереженнями, у пригнічених дерев чоловічі та жіночі генеративні органи формуються на місяць раніше, ніж зазвичай. Зазначимо, що *P. abies* пошкоджується і в інших промислових містах степової зони. Так, наприклад, у рекреаційній зоні м. Маріуполя до 22% дерев цього виду всихали, або мали незадовільний життєвий стан [116].

Різниця в біометричних характеристиках дерев *P. abies* та *P. pungens*, які ростуть по зовнішньому контуру куртин від дерев, що розміщені в їх центральній частині, добре фіксується візуально. Це підтверджується і статистичним аналізом (табл. 3.8–3.9). Дерев *P. abies* та *P. pungens*, які ростуть іззовні куртини, були відносно вищими, ніж висаджені в центрі (на 11,3–36,4% та 20,0–53,4%), а діаметри їх стовбурів – більшими на 22,9–53,5%

та 28,8–46,6%. Наші дослідження підтверджують, що показники висоти дерева та діаметру стовбура у відкритих насадженнях більші, ніж у щільних.

Зниження біометричних характеристик дерев особливо помітно в центрі куртини: дерева там нижчого зросту, з тонким стовбуром, менш охоєні, з деформованою кроною, деякі з них сухостійні. Так, середні показники висоти дерев, що зростають по зовнішньому контуру куртини виду *P. abies*, складають від 11,0 до 13,3 м, а в центрі куртини становлять 7–11,7 м. Для *P. pungens* середні показники висоти дерев, що зростають по периметру куртини, дорівнюють 7,3–11,0 м, а в середині – 3,4–8,8 м. Очевидно, що і середній показник діаметра стовбура дерев, що зростають іззовні куртини, буде більшим та становитиме для дерев *P. abies* від 17,2 см до 29,8 см, в той час, як в центрі куртини середній діаметр стовбура складає 8–22,3 см. Відповідно, у дерев *P. pungens*, що зростають по зовнішньому контуру куртини цей показник буде 14,4–27,1 см, а в центрі – 9,5–19,3 см. Саме ці параметри вважаються найчутливішими щодо конкуренції [279].

Таблиця 3.8

Відмінності в біометричних характеристиках дерев *Picea abies*

ззовні та всередині куртини

№ куртини	Вік	К-ть дерев	ззовні		К-ть дерев	всередині	
			h, (м)	D, (см)		h, (м)	D, (см)
1	24	10	11,0±0,5	17,2±1,8	7	7,0±1,2**	8,0±0,9***
2	25	13	11,3±0,3	20,4±1,7	11	9,1±0,7**	10,1±1,2***
3	27	8	11,7 ±0,5	20,6±2,1	5	9,0±0,8**	14,0±1,7*
4	28	6	12,5±0,4	25,2±0,5	4	8,8±1,5*	13,5±2,0***
5	30	11	12,5±0,3	26,5±1,1	10	10,1±1,1*	17,8±1,9***
6	33	9	12,0±0,4	27,2±1,0	4	10,1±0,4**	18,4±2,4**
7	33	9	12,1±0,3	27,8±1,3	5	10,6±0,6*	18,8±2,8*
8	34	9	12,4±0,3	27,9±1,3	4	11,0±0,5*	19,0±1,5***
9	34	9	12,8±0,4	27,9±0,7	6	11,2±0,3**	21,5±1,4**
10	35	7	13,3±0,2	29,8±1,5	7	11,7 ±0,2***	21,6±1,8**
Разом		91			63		

Таблиця 3.9

Відмінності в біометричних характеристиках дерев *Picea pungens*
ззовні та всередині куртини

№ куртини	Вік	К-ть дерев	ззовні		К-ть дерев	всередині	
			h, (м)	D, (см)		h, (м)	D, (см)
1	15	14	7,3±0,6	14,4±0,7	11	3,4 ±0,4***	9,5 ±0,8***
2	20	9	8,1±0,3	19,1±2,2	6	6,0±0,5**	10,2±0,5**
3	22	8	8,9 ±0,4	19,5±1,2	5	5,2±0,7***	13,2±1,7*
4	23	11	9,5±0,6	21,7±1,5	10	5,8±0,6***	13,5±2,0**
5	25	10	9,7±0,6	22,0±2,0	10	6,3±0,5***	12,9±1,4**
6	27	8	9,6±0,4	21,6±1,9	4	6,3±0,9**	12,3±1,7**
7	29	14	10,0±0,4	24,2±0,5	10	6,5±0,8***	13,5±0,8***
8	30	8	9,9±0,5	25,4±0,5	8	7,1±0,7**	14,8±1,6***
9	31	17	9,9±0,2	24,6±0,8	12	6,8±0,5***	14,8±1,3***
10	32	9	9,9±0,4	25,2±0,8	6	8,0±0,6*	15,5±2,0***
11	33	10	10,2±0,4	25,7±0,7	8	8,2±0,5**	17,5±2,1**
12	34	8	10,8±0,4	26,3±0,6	5	7,2±1,2*	16,0±1,6*
13	35	25	10,7±0,2	26,8±0,4	21	8,1±0,4***	18,6±1,1***
14	37	8	11,0±0,3	27,1±0,4	5	8,8 ±0,7*	19,3±2,4**
Разом		159			121		

У результаті проведених досліджень встановлено, що рослини в шести куртинах з більшою площею живлення мають вищий ріст та більший діаметр стовбура. Підвищена густота дерев у куртинах призводить до зниження їх декоративності у 30–40-річному віці. Чим молодші рослини, тим вища їх життєздатність, а з віком у щільних насадженнях дерева заважають одне одному, що призводить до пригнічення їхнього росту та розвитку, особливо в центрі куртини [72]. Тому важливо враховувати площу живлення та правила посадки дерев у куртинному типі насадження, щоб запобігти конкуренції рослин у II–III класі віку в боротьбі за світло, вологу і поживні речовини. Наші дослідження підтверджують поширену думку, що оптимальна площа живлення на одне дерево повинна складати близько 50 м^2 з розміщенням дерев 7×7 або 5×10 м [172].

На основі результатів наших досліджень можна зробити прогноз, що *P. abies* та *P. pungens* доцільно і в подальшому використовувати в озелененні м. Кривого Рогу, як і загалом у промислових містах степового Придніпров'я. Однак, висаджувати обидва види слід при віддаленні їх від зони дії викидів великих промислових підприємств. Рослини роду *Picea* A. Dietr. можна включати до насаджень парків, скверів, прибудинкових територій житлових районів міст. Висаджуючи ялини, необхідно дотримуватись відстані між посадковим матеріалом 5–8 м, що виключає зіткнення крон, особливо при куртинному типі посадки. Все це сприятиме активному росту та розвитку ялин у міських насадженнях в умовах степової зони України.

Висновки по розділу:

1. Встановлено, що в озелененні трьох адміністративних районів міста більш поширений вид *P. pungens* та його форми (56,4%), ніж *P. abies* (43,6%). В ході проведеного дослідження виявлено дерева обох видів віком від 10 до 50 років, серед яких найчисленнішою є вікова група 30–40 років.

2. Відзначено, що в умовах незначного рівня забруднення дерева *P. abies* та *P. pungens* у віковій групі 30–40 років добре розвинені ($h = 13,6$ – $14,8$ м; $D = 24,8$ – $26,7$ см та $h = 10,3$ – $12,1$ м; $D = 24,4$ – $25,9$ см відповідно), і лише в окремих із них починає розвиватись суховершинність. Відмирання верхньої частини крони та затримка розвитку рослин такого самого віку значно зростає у дерев на моніторингових ділянках із помірним та високим рівнем забруднення.

3. Спосіб розміщення *P. abies* та *P. pungens* на території м. Кривого Рогу в багаточисельних (10–46 особин) щільних куртинах сприяє активному росту і розвитку дерев з 15 до 35 років, особливо рослин по зовнішньому контуру куртини. Тоді як в центрі куртини при надмірно густому розміщенні за схемою 0,5–4 м рослини *P. abies* та *P. pungens* внаслідок конкуренції взаємно пригнічуються: затінена хвоя нижніх гілок опадає, уповільнюється розвиток рослин.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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: Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України, 25–27 жовтня 2016 р. Дніпро, 2016. С. 20.
6. 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.
7. 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.

8. Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І. Біоекологічні особливості *Picea abies* та *P. pungens* 'Glausa' 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.

РОЗДІЛ 4

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

Асиміляційні органи хвойних виконують важливі функції; особливості їх розвитку визначають процеси фотосинтезу та транспірації в процесі росту і розвитку рослин. За станом їх анатомо-морфометричних та фізіологічних характеристик можна визначити потенційні можливості деревостанів, особливо в умовах урбосередовища [60, 75, 131, 199, 208, 211]. Досліджень анатомо-морфологічних та фізіологічних показників хвої видів роду *Picea* – *P. abies* та *P. pungens*, поширених у насадженнях Кривого Рогу, досі не проводилося. Добре розвинений асиміляційний апарат не тільки відіграє важливу роль у декоративності рослин, але є одним із основних показників їх стійкості до несприятливих техногенних факторів. У зв'язку з цим вивчення особливостей анатомо-морфологічної будови хвої та вмісту в ній пігментів у видів роду *Picea* є досить актуальним, а отримані нами дані започатковують моніторингові спостереження асиміляційних органів ялин в урботехногенних умовах Кривого Рогу.

4.1. Характеристика основних анатомо-морфологічних параметрів хвої

В ході проведеного дослідження встановлено, що за високого рівня забруднення на ділянці 8 зменшується довжина хвої у 30–40-річних дерев *P. abies* та *P. pungens*, досягаючи мінімальних показників відповідно 12,27 мм та 18,56 мм, що в середньому на 30,4% та 23,9% менше, порівняно з довжиною хвої рослин в контрольному насадженні (табл. 4.1). Деяко менші відмінності виявлені у хвої рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростали в умовах помірного забруднення, які в середньому були на 13,7% та 13,4% нижчі в порівнянні з контрольною ділянкою.

Таблиця 4.1

Морфометричні параметри та оцінка стану хвої *Picea abies* та *Picea pungens* за умов різнорівневого забруднення

№ ділянки	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Периметр поперечного перетину, мм	Площа поверхні хвої мм ²	Довжина пагону, см	Число хвоїнок на 10 см пагона	Некроз (бал)	Хлороз (бал)
<i>Picea abies</i>									
1	18,45±0,44	1,17±0,02	0,71±0,02	2,76±0,04	50,59±1,37	7,25±0,38	144,6±2,41	1,07±0,03	1,16±0,04
2	17,19±0,57	1,12±0,03	0,68±0,01	2,64±0,05	46,38±1,88	6,39±0,49	150,8±3,32	1,15±0,04	1,32±0,05*
3	17,23±0,56	1,14±0,02	0,67±0,01	2,68±0,03	46,53±1,55	6,65±0,43	152,5±2,16*	1,56±0,07***	1,51±0,07***
4	16,58±0,42**	1,07±0,03**	0,65±0,01**	2,52±0,03**	41,71±1,41***	5,43±0,36**	160,7±4,03**	2,14±0,07***	2,36±0,10***
5	15,85±0,44***	1,08±0,03**	0,66±0,02*	2,56±0,04**	40,67±1,37***	5,78±0,42*	176,2±3,12***	2,09±0,08***	2,52±0,12***
6	15,31±0,47***	1,05±0,02***	0,64±0,02**	2,47±0,03***	38,08±1,35***	5,12±0,46**	188,6±2,58***	2,33±0,09***	2,61±0,14***
7	13,43±0,51***	1,04±0,03***	0,60±0,02***	2,45±0,05***	32,61±1,30***	4,97±0,53**	194,1±2,96***	2,56±0,08***	2,78±0,13***
8	12,27±0,48***	1,02±0,02***	0,59±0,02***	2,38±0,03***	28,64±1,01***	4,52±0,45***	194,4±2,34***	2,64±0,08***	2,83±0,12***
<i>Picea pungens</i>									
1	24,52±0,63	1,44±0,04	1,26±0,02	3,87±0,08	80,29±2,06	8,54±0,57	127,6±2,06	1,05±0,02	1,14±0,04
2	23,77±0,76	1,40±0,03	1,24±0,04	3,79±0,07	76,95±2,44	7,36±0,76	133,8±2,46	1,21±0,04	1,29±0,07
3	23,13±0,81	1,41±0,02	1,25±0,03	3,80±0,06	75,85±2,86	7,29±0,64	138,1±3,93*	1,44±0,07***	1,65±0,10***
4	21,67±0,65**	1,38±0,03	1,22±0,04	3,75±0,07	69,66±2,21***	6,87±0,69	141,6±3,56**	1,96±0,09***	1,61±0,12**
5	22,82±0,73*	1,33±0,02**	1,23±0,03	3,67±0,04**	72,93±2,33*	6,93±0,58*	147,4±3,18***	2,02±0,08***	2,05±0,10***
6	19,21±0,67***	1,35±0,03*	1,20±0,03*	3,65±0,05***	60,88±2,02***	5,92±0,55**	145,7±3,86***	2,31±0,08***	2,39±0,09***
7	18,74±0,70***	1,31±0,02**	1,18±0,02**	3,54±0,04***	59,12±2,19***	5,64±0,62**	154,2±2,85***	2,55±0,07***	2,54±0,08***
8	18,56±0,61***	1,29±0,03**	1,16±0,02***	3,49±0,05***	58,22±1,97***	5,18±0,59***	167,9±3,51***	2,59±0,07***	2,75±0,13***

Примітка для табл.4.1–4.2: – відмінності достовірні за *t*-критерієм Стьюдента * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$. $M \pm m$.

– середні значення з помилкою

Параметри ширини та товщини хвої зменшувались у обох видів рослин, що підпадали під техногенний вплив (табл. 4.1). Так, у *P. abies* ці показники на ділянках за умов високого рівня забруднення на 12,0% та 16,2% менші, ніж у рослин контролю; у хвої *P. pungens* – відповідно на 9,7% та 7,1%. Відомо, що в урбаністичних умовах при високому рівні забруднення повітряного басейну спостерігається як зростання, так і зменшення ширини та товщини хвої у *P. abies* та *P. pungens* у порівнянні з рослинами малозабруднених територій [24, 25, 173]. У нашому випадку дані показники у обох видів знижувались при наближенні насаджень до джерел техногенного навантаження. Порівнюючи периметр поперечного перерізу хвої дерев обох видів ялин, які зазнавали впливу різноякісного забруднення, помітно його зменшення у *P. abies* та *P. pungens*, що зростали в умовах сильного забруднення на 12,5% та 9,2% порівняно з контролем.

Площа поверхні хвої є важливим показником стану дерева. Найменші значення даного параметру у рослин *P. abies* та *P. pungens* відмічено на ділянках із помірним та високим рівнем навантаження, що на 20,6%, 15,5% та 39,5%, 26,9% менше, порівняно з контрольними деревами на моніторинговій ділянці 1. У ході наших досліджень площа поверхні хвої обох видів ялин зменшувалась у рослин, що зазнавали автотранспортного та промислового впливу. Зміна морфометричних характеристик хвої призводить до зміни її загальної асимілюючої поверхні; в результаті це впливає на продуктивність і стан дерев у подальші роки.

Зі збільшенням рівня забруднення відбувається погіршення росту пагонів; як наслідок – пучки хвоїнок зближуються між собою (рис. 4.1). Так, наприклад на ділянках в умовах високого рівня забруднення показники довжини пагона у *P. abies* та *P. pungens* в середньому на 34,6% та 27,5% нижчі, порівняно з контролем. Деяко менші відмінності виявлені у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростали в насадженнях з помірним рівнем навантаження в середньому вони були на 24,9% та 23,0% нижче, ніж у дерев контролю.

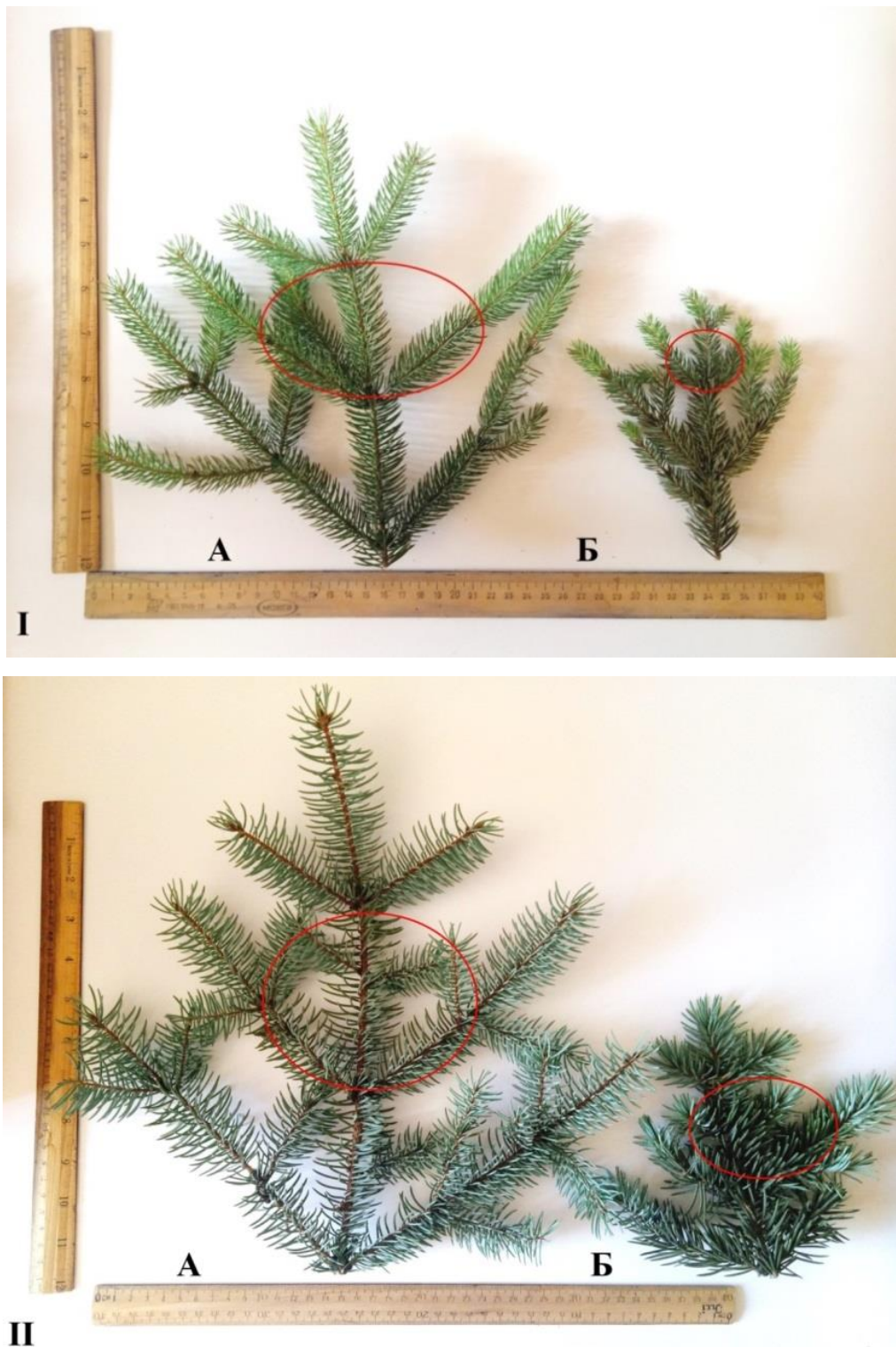


Рис. 4.1. Розміри дворічних пагонів *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II), що зростають: А – на моніторинговій ділянці 1 (умовний контроль); Б – на моніторинговій ділянці 8 (зона високого рівня забруднення)

Максимальні за розміром пагони з дворічною хвоєю було відмічено на моніторинговій ділянці 1: у дерев *P. pungens* – 8,54 см та у *P. abies* – 7,25 см;

а мінімальний – на моніторинговій ділянці 8: відповідно 5,18 см та 4,52 см, що в 1,6 рази менше, ніж у контролі. Щодо такого показника, як довжина пагону, зазначимо, що одним із проявів дії токсичних речовин є зменшення лінійних розмірів даного параметру. Погіршення пагонів поступово призводить до зниження декоративності у дерев обох видів в урботехногенних умовах.

Відзначено, що у рослин *P. abies* та *P. pungens* за високого рівня забруднення кількість голок на 10 см пагона на 34,3% та 26,2% є більшою у порівнянні з насадженнями контролю. В умовах помірного забруднення цей показник збільшувався на 21,1% та 13,6% відповідно. Тобто, з підвищенням техногенного впливу зростає і число хвоїнок на пагонах, що можна пояснити адаптивною реакцією рослин на стрес. При порівнянні кількості хвоїнок другого порядку між *P. abies* та *P. pungens* виявлено, що у дерев останнього виду їх частка в усіх досліджуваних насадженнях майже в 1,3 рази менша.

Щільність розміщення хвої на пагонах та тривалість її життя характеризують адаптаційну здатність виду, яка залежить у значній мірі від умов зростання. В ході дослідження встановлено, що 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. 4.2), а наявність хлорозу і некрозу хвої, навпаки, зростає до 2,5 разів (табл. 4.1). При високих концентраціях токсичних речовин у хвойних порід спостерігається характерне пошкодження – некроз та хлороз [76]. Тривалість життя хвої при різних рівнях забруднення у м. Кривий Ріг для дерев обох видів коливалась в межах 3–5 років, досягаючи максимуму на моніторингових ділянках за умов незначного рівня аеротехногенного навантаження. Такий результат досліджень підтверджує відому думку, що висока тривалість життя хвої є показником екологічної чистоти середовища [178].

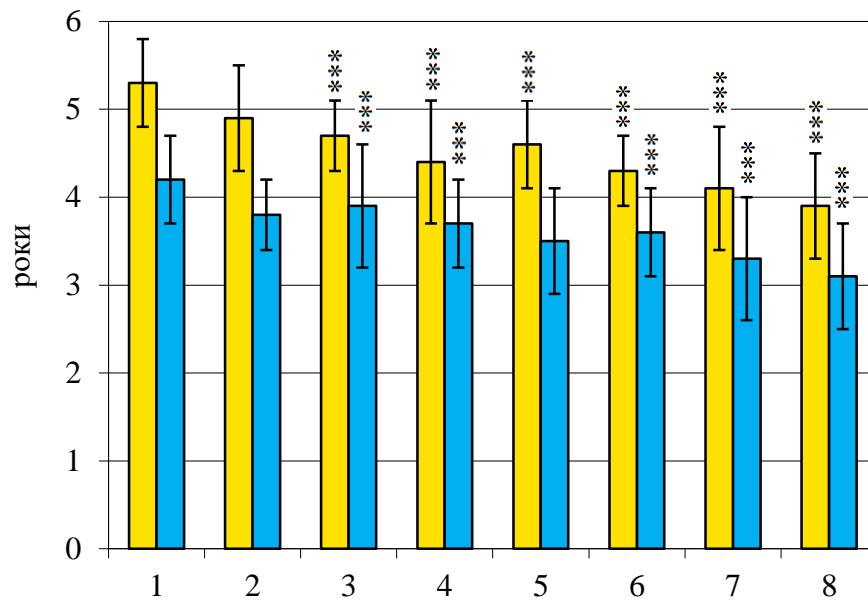


Рис. 4.2. Тривалість життя хвої *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ в залежності від умов зростання (значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).

Назви моніторингових ділянок: 1 – КБС, 2 – парк Шахтарський, 3 – парк Героїв АТО, 4 – вул. Черкасова, 5 – вул. Ватутіна, 6 – проспект Металургів, 7 – «ПівнГЗК», 8 – «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Анатомічні дослідження дозволяють зрозуміти механізми проникнення аерополлютантів у внутрішні тканини асиміляційних органів, ступінь і особливості їх впливу. Як структурні показники для індикації атмосферного забруднення пропонують використовувати розміри епідерми, гіподерми, ендодерми, мезофілу, центрального провідного циліндра (ЦПЦ), число смоляних каналів та їх діаметр [135, 173, 250].

Епідерма вкриває хвою суцільним шаром, регулює газообмін і транспірацію. Максимальні показники товщини епідерми (8,31 та 9,27 мкм) зафіксовані у *P. abies* та *P. pungens* із моніторингової ділянки 1, а мінімальні (6,62 та 7,87 мкм відповідно) за умов високого рівня забруднення (табл. 4.2), що в середньому на 18,6% та 14,8% менше порівняно з рослинами контролю (рис. 4.3).

Таблиця 4.2

Анатомічні показники хвої *Picea abies* та *Picea pungens* в насадженнях на території м. Кривий Ріг

Моніторингові ділянки	Товщина (на поперечному перерізі)			Діаметр ЦПЦ, мкм	Число смоляних ходів на поперечному перерізі, шт	Діаметр смоляних ходів, мкм
	епідерми, мкм	епідерми, мкм	епідерми, мкм			
<i>Picea abies</i>						
1	8,31±0,45	11,93±0,54	13,91±0,63	123,65±2,73	0,87±0,15	42,85±0,91
2	7,73±0,48	11,78±0,56	12,83±0,68	120,22±3,12	0,73±0,14	40,03±1,14
3	7,95±0,51	11,54±0,55	12,27±0,62	119,32±3,33	0,67±0,13	41,26±1,31
4	7,48±0,38	10,31±0,58*	11,35±0,51**	115,38±2,71*	0,57±0,13	37,91±1,50**
5	7,12±0,34*	11,37±0,51	12,08±0,56*	112,75±2,86**	0,63±0,14	39,17±1,38*
6	6,96±0,45*	10,09±0,63*	10,81±0,56***	109,37±2,67***	0,47±0,12*	35,62±1,42***
7	6,84±0,39*	10,24±0,56*	10,67±0,67**	103,09±2,45***	0,23±0,12**	36,29±1,24***
8	6,62±0,42*	9,92±0,62*	10,42±0,65***	98,62±2,14***	0,17±0,10***	34,87±1,11***
<i>Picea pungens</i>						
1	9,27±0,53	13,29±0,64	12,62±0,67	164,58±3,09	1,37±0,13	54,21±1,16
2	8,72±0,50	13,18±0,67	12,74±0,63	165,37±2,75	1,13±0,14	51,68±1,43
3	9,06±0,48	12,93±0,75	13,01±0,53	167,83±3,86	1,20±0,15	52,32±1,29
4	8,54±0,54	12,75±0,68	12,75±0,68	173,64±2,70**	0,97±0,15	46,84±1,21***
5	8,25±0,49	11,52±0,59*	13,64±0,74**	169,17±3,71**	0,83±0,16*	49,67±1,39*
6	8,01±0,32*	12,24±0,61	13,89±0,63**	178,76±3,06***	0,67±0,16**	47,53±1,48**
7	7,92±0,40*	11,47±0,62*	14,05±0,52**	176,84±3,46***	0,53±0,15***	44,34±1,59***
8	7,87±0,44*	11,34±0,65*	15,37±0,57**	187,11±3,51***	0,60±0,14***	43,84±1,41***

Деяко менші відмінності анатомічних показників виявлені у рослин обох видів на ділянках при помірному рівні забруднення, які в середньому були на 13,1% та 10,8% нижче, ніж у дерев з насаджень контролю.

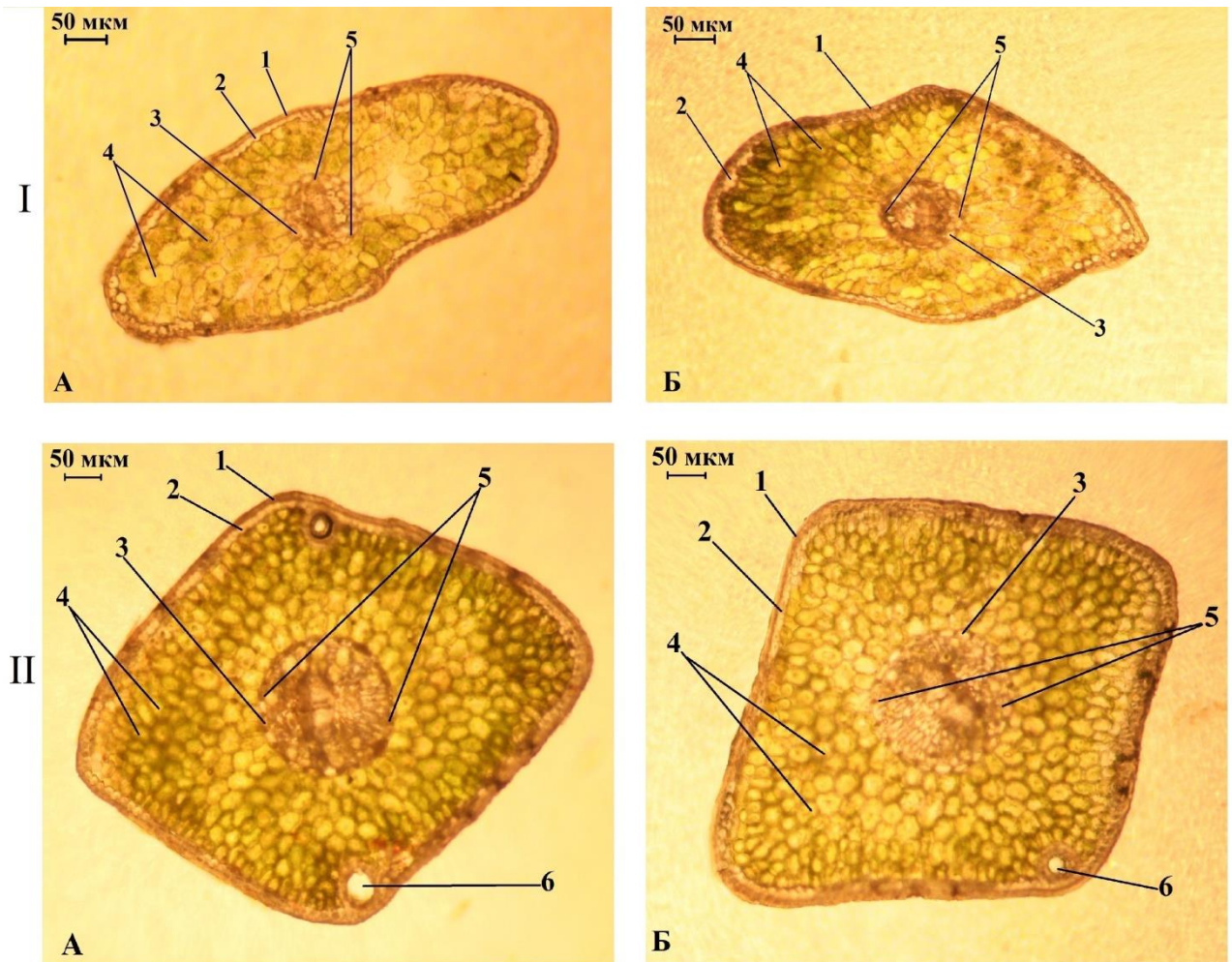


Рис. 4.3. Поперечні зрізи хвої *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II), що зростають: А – в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України; Б – біля “АрселорМіттал Кривий Ріг”; 1 – епідерма, 2 – гіподерма, 3 – ендодерма, 4 – складчастий мезофіл, 5 – центральний провідний циліндр (ЦПЦ), 6 – смоляні ходи

Під епідермою знаходиться гіподерма, завдяки якій хвоя має зазвичай твердий зовнішній скелет, що надає їй характерну жорсткість. Найнижчі розміри товщини гіподерми відмічено у *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із надмірним рівнем забруднення, що менше в середньому на 15,5% та 14,2% порівняно з контролем. Зменшення розмірів товщини епідерми та гіподерми

в результаті негативного впливу аеротехногенних викидів, очевидно, призводить до порушення регуляції газообміну та транспірації клітин.

Ендодерма оточує центральний провідний циліндр хвої та регулює надходження речовин до провідних тканин. Товщина ендодерми у всіх насадженнях *P. abies* коливалась в межах 10,42–13,91 мкм, у *P. pungens* – 12,62–15,37 мкм. Показники товщини ендодерми при наближенні рослин *P. abies* до джерел сильного та помірного забруднення зменшуються на 23,5% та 17,9% порівняно з контролем. У дерев *P. pungens* навпаки, збільшуються на 17,5% та 14,6% відповідно при порівнянні з контролем. В останньому випадку така реакція рослин на забруднення пов'язана зі змінами адаптивного характеру. Подібне потовщення ендодерми спостерігалось у *P. pungens* в техногенних умовах іншого регіону [173] в результаті посилення бар'єрних функцій, спрямованих на обмеження надходження токсичних речовин до провідних тканин.

Важливою ознакою анатомічної структури хвої є будова ЦПЦ, що розташований по центру голки та складається з провідних пучків, між якими знаходяться клітини склеренхіми [121]. Показник діаметру ЦПЦ у хвої *P. abies* за високого рівня забруднення зменшувався в середньому на 18,4% порівняно з контролем. У рослин *P. pungens*, він, навпаки, збільшувався на 10,6% порівняно з контролем. Ми вважаємо, що накопичення пилу на поверхні хвої призводить до порушення водного стану хвої та призводить до стану, подібного до водного стресу. Збільшення показника діаметру ЦПЦ сприяє посиленню процесу транспірації. Очевидно, що така реакція рослин *P. pungens* характеризує її як більш стійкий вид до дії аерополутантів.

Невід'ємною складовою анатомії хвої є наявність смоляних ходів, що проходять через мезофіл, і деякі з них прикріплюються до абаксіальної гіподерми [173]. У хвої дерев *P. abies* та *P. pungens*, що зростають в умовах високого рівня забруднення нами було відмічено зниження кількості смоляних каналів у 5,1 та 2,6 разів порівняно з контролем, а також зменшення їх діаметру на 16,9% та 18,7% відповідно. Схожі показники

кількості смоляних ходів та їх діаметру відмічено у обох видів ялин за умов помірного рівня забруднення. У нашому випадку надмірна концентрація токсичних речовин спричинює зменшення числа смоляних каналів або призводять до повної їх відсутності.

Процес накопичення маси хвої дуже чутливо реагує на техногенний вплив. Так, найнижчі значення абсолютно сухої маси хвої зафіксовано у дерев *P. abies* та *P. pungens* на ділянках з надмірним рівнем забруднення, що на 38,5% та 37,6% менше порівняно з насадженнями контролю (рис. 4.4).

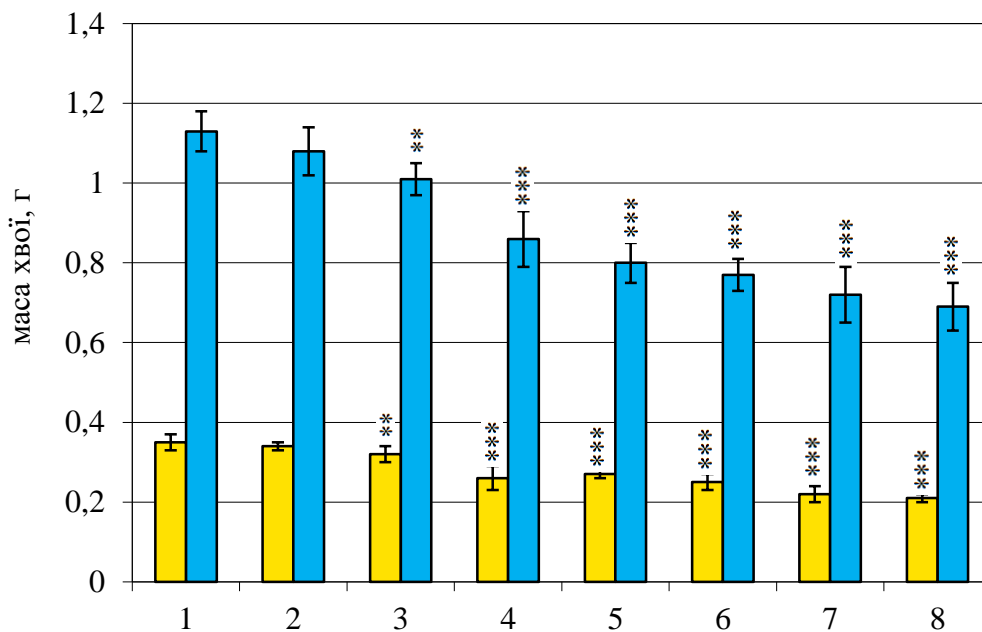


Рис 4.4. Абсолютна суха маса хвої *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ в залежності від умов зростання (значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

При помірному забрудненню цей показник був нижчий на 25,7% та 28,3% відповідно до контролю. Це підтверджує негативну дію аерополітантів на ріст і розвиток хвої та вмісту в ній речовин, необхідних для основних процесів життєдіяльності (транспірації, фотосинтезу).

Об'єктивним індикатором забруднення слугує вологість хвої, оскільки втрата води веде до деструкції мембран клітин [269]. Спостерігалась загальна тенденція до зниження відсотка вологи для обох видів роду *Picea* на ділянках

з помірним та високим рівнем забруднення, спричиненим впливом автотранспортних викидів та дією промислових емісій (рис.4.5).

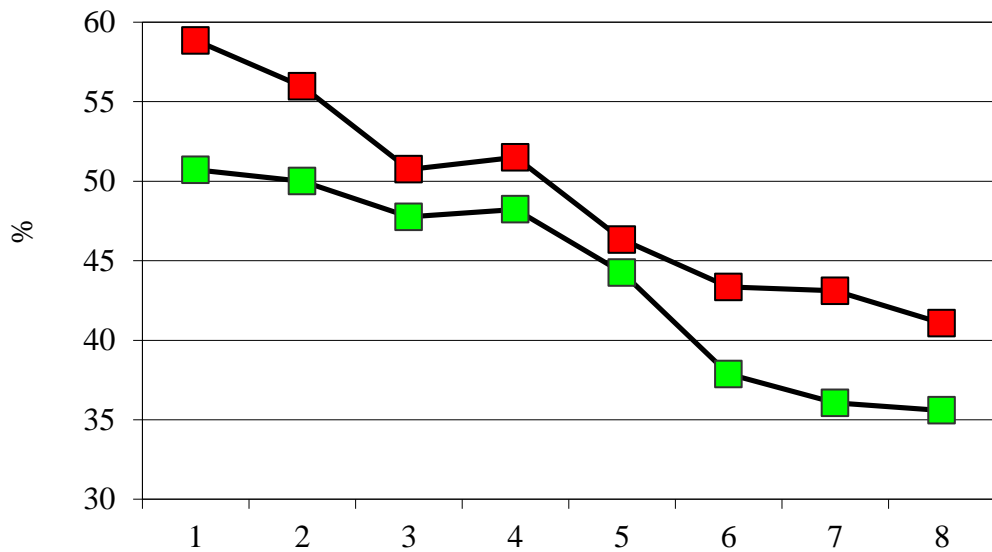


Рис. 4.5. Відсоток вологи хвої у *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ за умов різнорівневого забруднення.

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

Так, наприклад, у дерев *P. abies* та *P. pungens* на ділянках з помірним рівнем навантаження цей показник був на 20,9% та 25,7% меншим порівняно з насадженнями контролю, а при сильному рівні забруднення, відповідно – на 29,4% та 28,5%.

При порівнянні показників вологості у дерев *P. abies* та *P. pungens* виявлено, що у останнього виду вони вищі на ділянках з незначним рівнем забруднення та переважають в середньому на 10,3%, порівняно з *P. abies*, а на ділянках за умови помірного та високого рівнів забруднення в середньому на 8,2% та 14,9% більші відповідно. Низький відсоток вологості хвої свідчить про її низьку фізіологічну активність і готовність до опадання.

Аналіз проведених досліджень свідчить, що у обох видів ялин анатомічні показники раніше відображають вплив аерополітантів на рослини, ніж морфологічні. Виявлені достовірні зменшення, рідше збільшення 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*.

4.2. Пігментний апарат рослин і його особливості в залежності від умов зростання

Для ранніх проявів стресового стану рослин під дією забруднення на фізіолого-біохімічному рівні найчастіше використовують показники вмісту хлорофілу *a* і *b*, які є чутливими до дії аерополлютантів [158, 214].

Максимальний вміст хлорофілу *a* у хвої *P. abies* та *P. pungens* був відзначений в травні (1,04 мг/г сирої речовини та 1,24 мг/г сирої речовини) на моніторинговій ділянці 1 (контроль), що в середньому на 16,3% та 20,6% більше порівняно з насадженнями із високим рівнем забруднення (рис. 4.6).

Дещо менші відмінності виявлені у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростали за умов помірного рівня навантаження, які в середньому були на 12,2% та 15,1% нижче, ніж у контролі. Результати наших досліджень підтверджують негативний вплив забруднювачів повітря на кількість хлорофілу *a* у хвої обох видів ялин. Найбільша кількість хлорофілу *a* в травні пояснюється достатньою кількістю опадів на початку вегетації, та оптимальною для розвитку рослин температурою повітря, яка різко підвищується в наступні місяці. Найменші показники хлорофілу *a* у двох видів *P. abies* та *P. pungens* (0,58 мг/г сирої речовини та 0,70 мг/г сирої речовини) зафіксовано у вересні на моніторинговій ділянці 8, яка характеризується високим рівнем забруднення, що на 21,6% та 29,3% менше порівняно з рослинами контролю. В обох видів спостерігалася загальна тенденція до зниження вмісту даного пігменту протягом літа та осені, особливо у вересні, оскільки цей період характеризувався малою кількістю опадів та повітряною посухою.

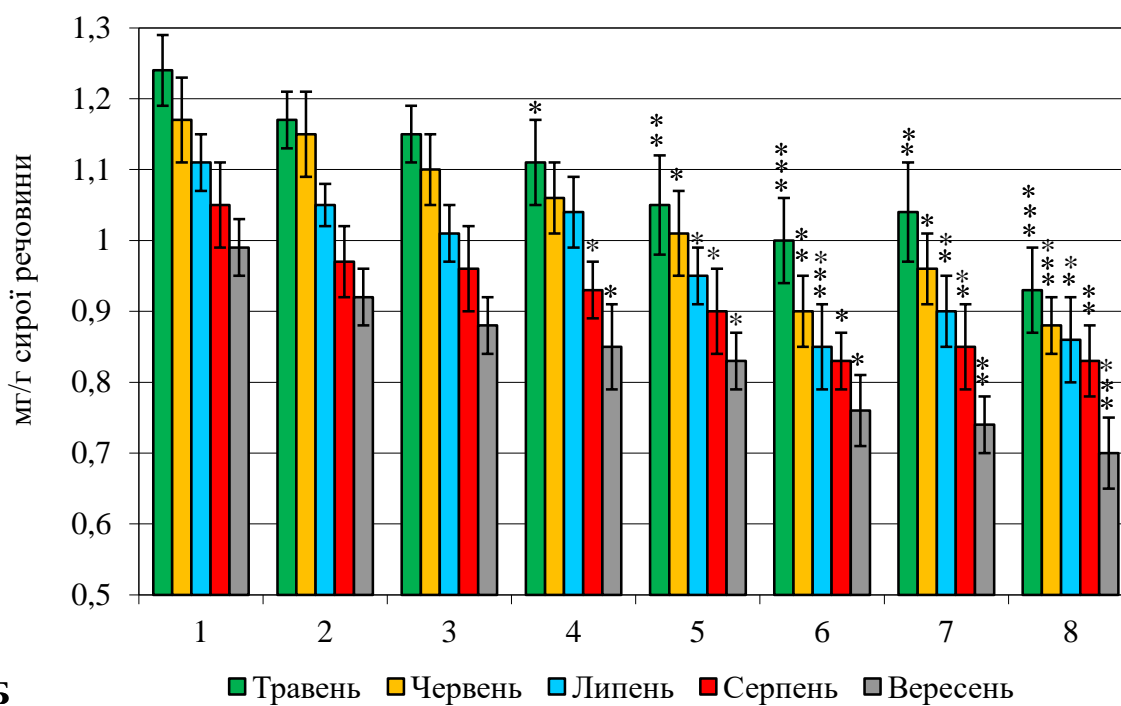
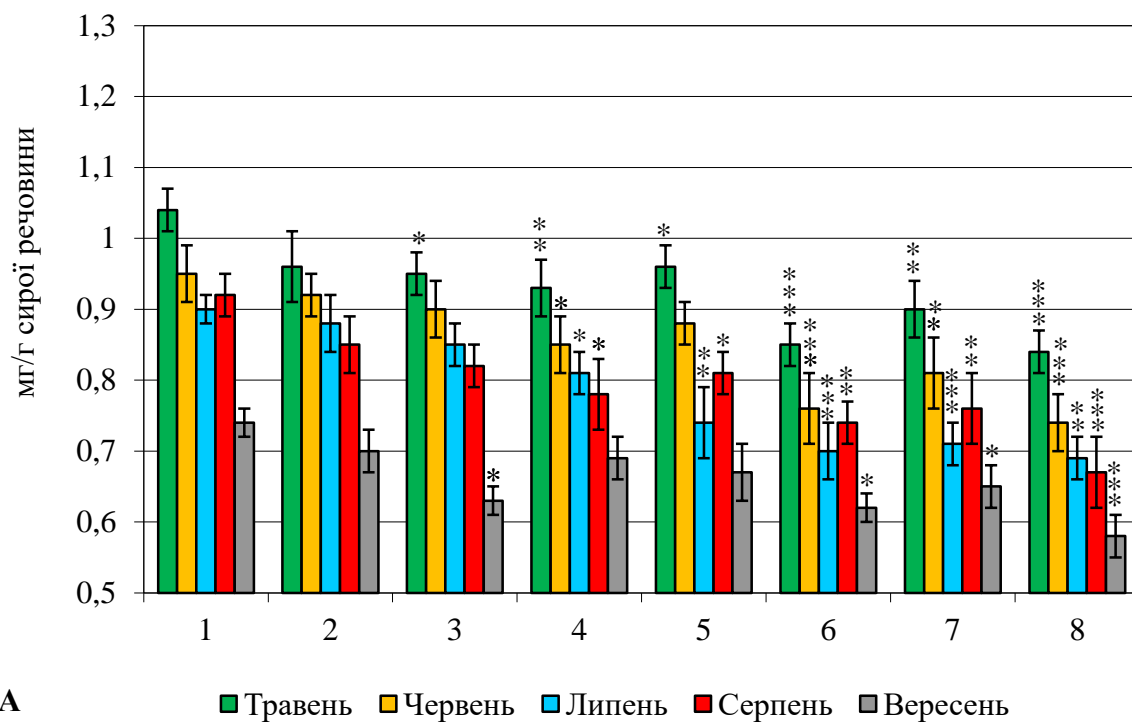


Рис. 4.6. Кількісний вміст хлорофілу *a*, мг/г сирої речовини у видів *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг ($n = 5$; значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

В ході досліджень на протязі п'яти місяців відзначено достовірне зниження показників хлорофілу *a* у рослин обох видів на ділянках при надмірному рівні забруднення, особливо у *P. abies* [75, 159]. У хвої *P. pungens* в насадженнях міста спостерігалася відносна стабільність вмісту хлорофілу *a*, а також більш висока його концентрація ніж у *P. abies*, яка чутливіше реагує на техногенний вплив.

До складу світлозбиральних комплексів хлоропластів також входить хлорофіл *b*, який також виконує функції поглинання світлової енергії та її передачі на реакційний центр фотосистеми. Максимум накопичення хлорофілу *b* у *P. abies* та *P. pungens* був відзначений у травні в контролі (0,41 мг/г сирої речовини та 0,50 мг/г сирої речовини), що в середньому більше на 9,8% та 18,0% порівняно з деревами, що зростають за умов сильного рівня забруднення та вище на 4,9 % та 14,0%, ніж у рослин із насаджень при помірному рівні забруднення відповідно (рис. 4.7).

Вміст хлорофілу *b* у мінімальній кількості виявлений у хвої *P. abies* та *P. pungens* у вересні на ділянці 8 (високий рівень забруднення): 0,29 мг/г сирої речовини та 0,33 мг/г сирої речовини, що на 14,7% та 21,4% менше порівняно з рослинами контролю. Протягом п'яти місяців спостерігалось несуттєве збільшення хлорофілу *b* у хвої насаджень обох видів ялин по мірі їх віддалення від джерел автомобільних та промислових викидів гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів.

З окремих публікацій [149, 252] відомо, що забруднюючі речовини послаблюють накопичення хлорофілу *b* у більшій мірі, ніж хлорофілу *a*, що може зменшити активність фотосинтетичного апарату та порушити метаболізм рослин. Проте інші дослідники [105, 199], навпаки, наголошують на переважанні кількісних змін вмісту хлорофілу *a* в пігментному комплексі хвойних на урбанізованих територіях; вміст же хлорофілу *b* залишається відносно стабільним. У нашому випадку підтверджується другий варіант динамічних змін пігментного комплексу: зі збільшенням рівня забруднення міського середовища помітніше знижується кількість хлорофілу *a*, ніж *b*.

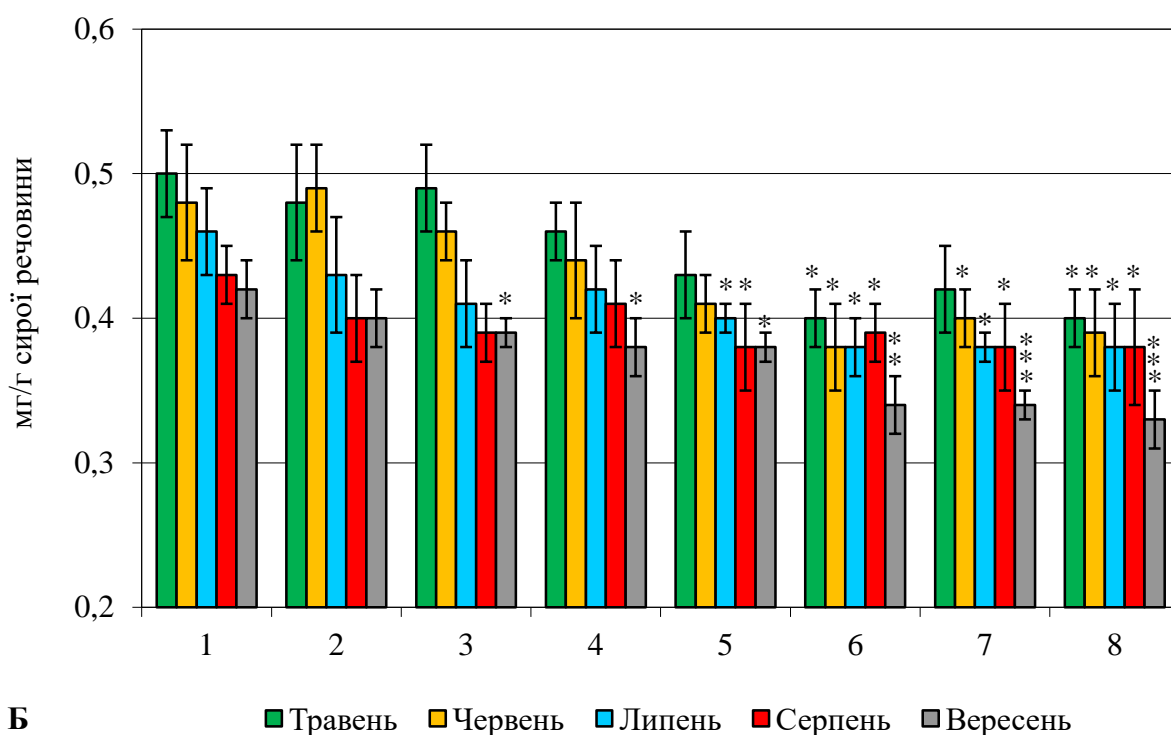
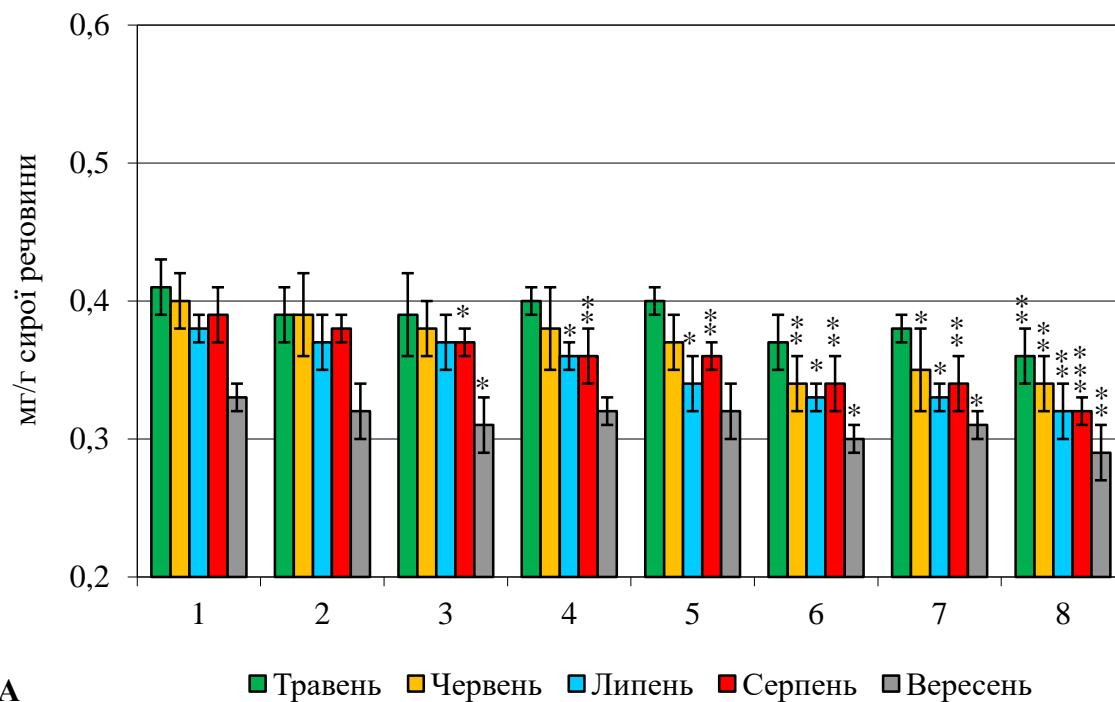


Рис. 4.7. Кількісний вміст хлорофілу *b*, мг/г сирої речовини у видів *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг (n = 5; значення достовірно відрізняються від контролю * – при P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

У ряді робіт [265, 266] показано, що хлорофіл чутливо реагує на всі зміни в обміні речовин і при несприятливих умовах змінюється як його загальний вміст ($a+b$), так і співвідношення окремих форм (a/b).

Сума хлорофілів ($a+b$) у рослин роду *Picea* була вищою на ділянках із незначним рівнем забруднення, особливо у травні (рис. 4.8).

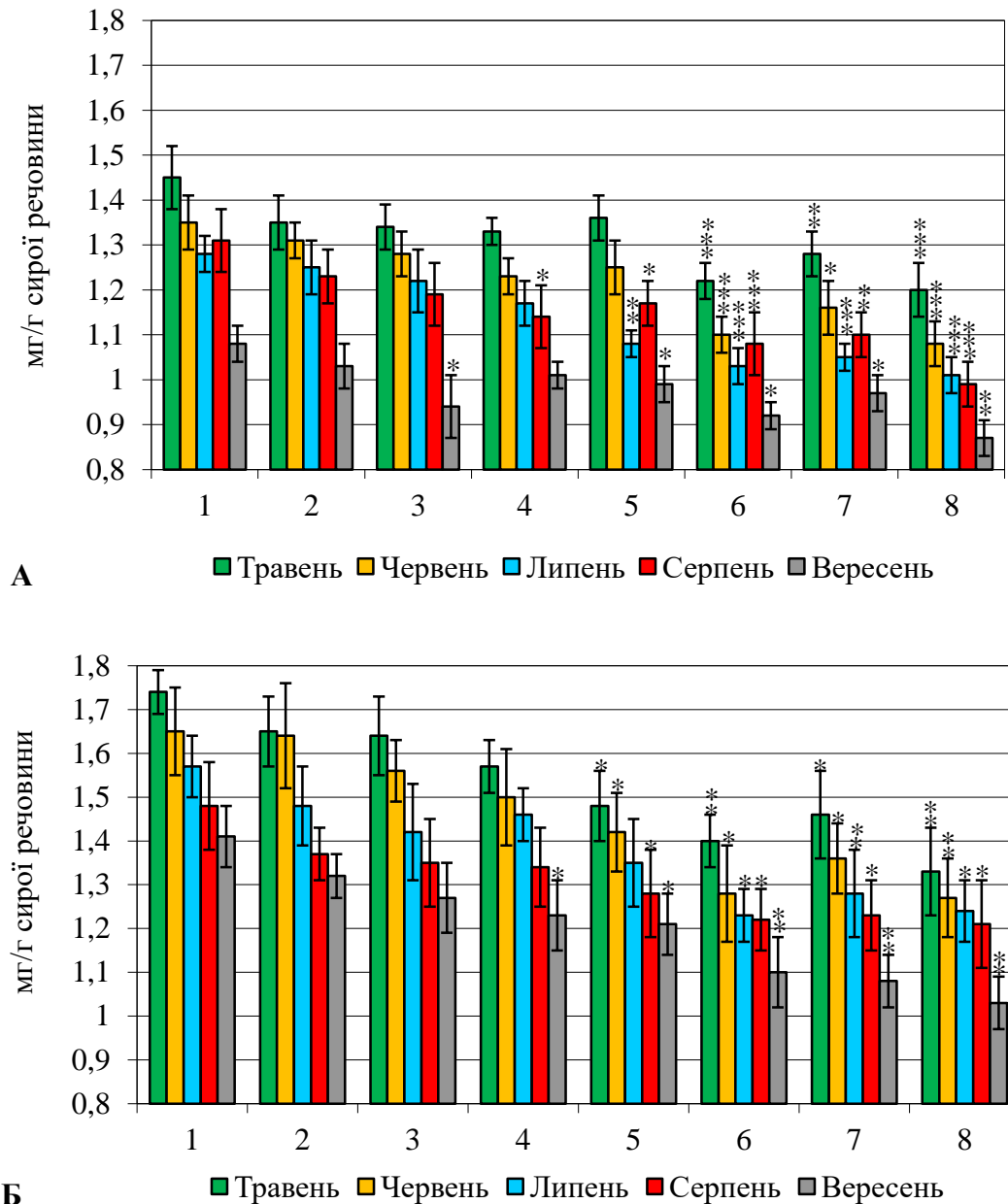


Рис. 4.8. Вміст суми хл $a+b$ у хвої дерев *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг ($n = 5$; значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

З усіх восьми насаджень максимальні значення цього показника були зафіксовані в цей період у хвої *P. abies* (1,45 мг/г сирої речовини) та *P. pungens* (1,74 мг/г сирої речовини) в контролі, що в середньому на 14,5% та 19,8% більше порівняно з деревами за високого рівня промислових викидів. У середньому вони вищі на 14,8% та 10,1% відповідно, порівняно з насадженнями, що зазнавали помірного рівня навантаження. Дані підтверджують наші раніше сформульовані положення про загальне зменшення кількості хлорофілів у фотосинтетичному апараті за умов різноякісного забруднення та їх більш високий вміст у травні, що пояснюється сприятливими погодними умовами на відміну від наступних місяців.

При порівнянні суми хлорофілів ($a+b$) у хвої між даними видами в травні у насадженнях контролю відмічено, що у *P. pungens* цей показник був більшим на 16,7% в порівнянні з *P. abies*. У більшості випадків він зменшувався в обох видів від початку до кінця вегетаційного періоду. Протягом п'яти місяців відзначено зниження показників суми хлорофілів ($a+b$) у рослин обох видів роду *Picea* на всіх моніторингових ділянках, проте їх значення, отримані при аналізі проб, відібраних з ділянок біля промислових підприємств (рідше біля автошляхів) достовірно відрізнялись від контролю.

Виявлено, що найменші показники суми хлорофілів протягом п'яти місяців притаманні пігментним комплексам обох видів ялин у вересні в насадженнях Металургійного району (на 40 км південніше від контролю). У рослин *P. abies* та *P. pungens* біля «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка 8) в останньому місяці вегетаційного періоду сума хлорофілів дорівнювала 0,87 мг/г сирої речовини та 1,03 мг/г сирої речовини, що на 19,4% та 27,0% достовірно менше порівняно з деревами контролю. В насадженнях на ділянці 6 хвоя обох видів ялин містила на 8,9%; 7,1% та 10,7%; 9,1% відповідно менше суми вмісту досліджуваних пігментів у порівнянні з

аналогічними показниками дерев, що зростали на моніторинговій ділянці 4 та 5 (на 45 та 20 км північніше від ділянки 6).

Така тенденція спостерігалась і при співставленні результатів аналізу зразків хвої з насаджень на ділянці 3, де значення були меншими, з результатами дослідження хвої дерев, що зростали на ділянці 2 та 1. Але ці результати виявилися статистично не достовірними. Очевидно, що негативний вплив на вміст фотосинтезуючих пігментів у хвої здійснюють токсичні речовини викидів автомобілів та металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Суттєвим є вплив і природних факторів: температури повітря, кількості опадів, що залежить від локальних мікроумов моніторингової ділянки. Менша кількість атмосферних опадів у південних районах міста спричинює затримку нормального розвитку асиміляційного апарату, що відображається на кількості пігментів. Такі зміни є відповідною реакцією рослин на комплексний вплив несприятливих екологічних факторів. Зміни пігментного комплексу хвої призводять до зменшення параметрів росту (довжини хвої, маси та її кількості на пагонах). В результаті вплив техногенного забруднення зумовлює системне порушення функціонування рослинного організму.

Вміст хлорофілів (a/b) є одним з інформативних параметрів, здатних охарактеризувати роботу фотосинтетичного апарату. В залежності від збільшення частки хлорофілу a в цьому співвідношенні активізується процес фотосинтезу. Найбільші значення співвідношення хлорофілів (a/b) у хвої *P. abies* (2,54 мг/г сирої речовини) та *P. pungens* (2,69 мг/г сирої речовини) нами виявлені в рослин ботанічного саду у травні; вони були вищими, ніж у інших досліджуваних насадженнях протягом всього вегетаційного періоду (рис. 4.9).

Найменший показник співвідношення хлорофілів (a/b) відзначено у хвої дерев *P. abies* та *P. pungens* у вересні (2,0 мг/г сирої речовини та 2,12 мг/г сирої речовини) на ділянці 8, яка знаходиться в зоні високого рівня забруднення. Це на 7,8% та 10,5% менше порівняно з рослинами контролю.

Подібні дані протягом п'яти місяців у обох видів спостерігались на ділянці 6, яка характеризується помірним рівнем забруднення; це можна пояснити надмірним впливом автотранспортних викидів та дією промислових емісій в Металургійному районі.

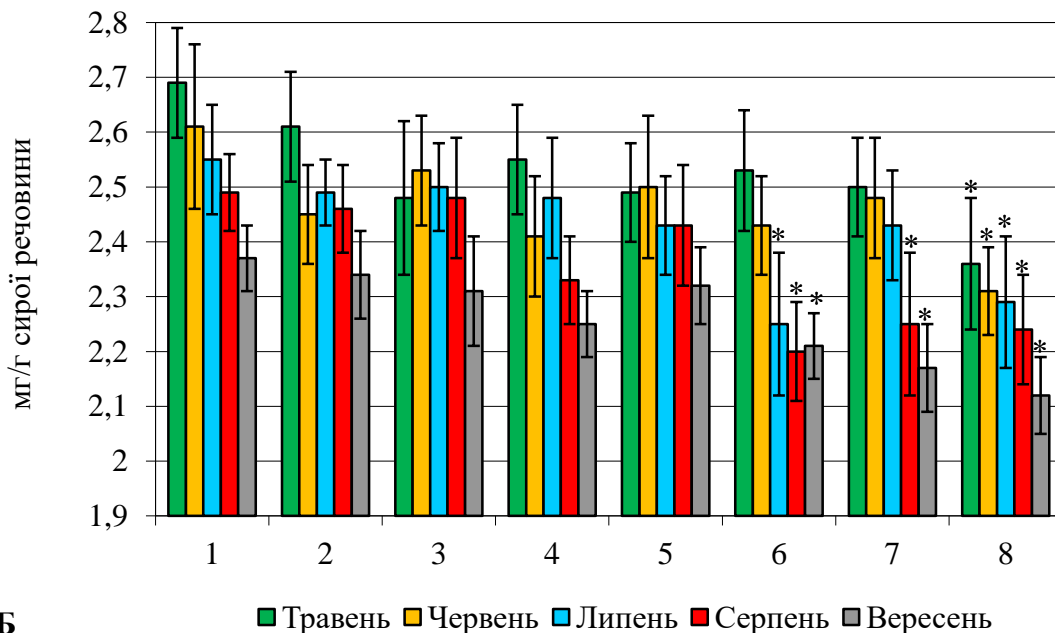
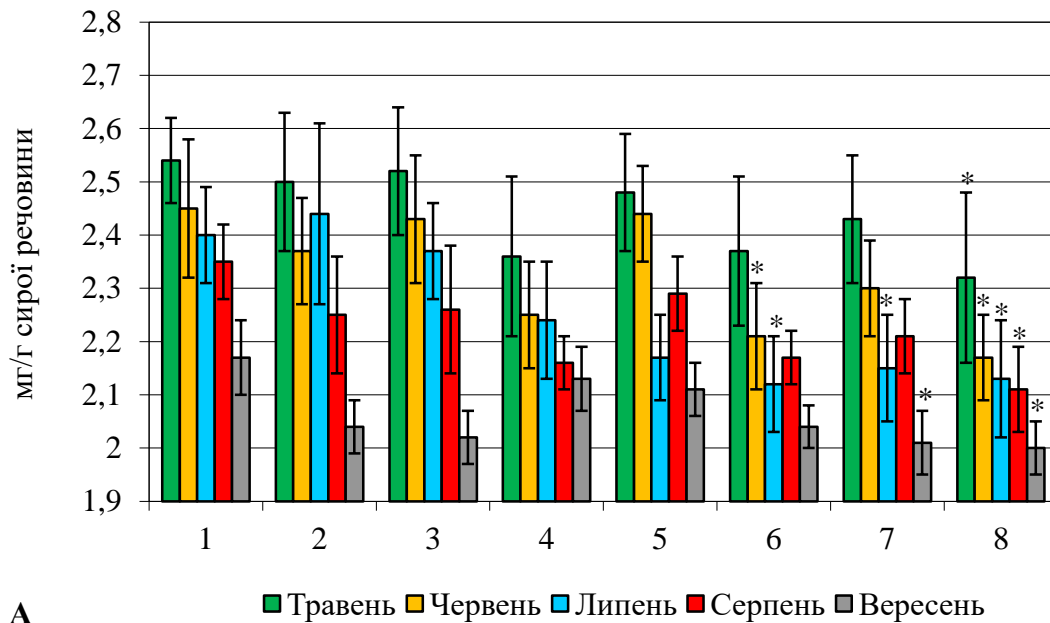


Рис. 4.9. Співвідношення хлорофілів (a/b) у хвої дерев *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг ($n = 5$; значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$). Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

Сезонна динаміка співвідношення хлорофілів (a/b) у хвої обох видів ялин свідчить, що цей показник був меншим *P. abies*, ніж у *P. pungens*. Це характеризує останній вид як такий, що має кращу адаптаційну пристосованість фотосинтетичного апарату до кліматичних і техногенних умов міста Кривий Ріг.

4.3. Зміна вмісту каротиноїдів в хвої як показник стану аеротехногенного середовища

Обов'язковим компонентом пігментної системи рослин є каротиноїди. Відносний їх вміст змінюється в процесі розвитку рослинних організмів і під впливом екологічних умов середовища.

Кількість каротиноїдів у хвої дерев обох видів роду *Picea* протягом п'яти місяців змінювалась від 0,20 до 0,34 мг/г сирої речовини; концентрація їх підвищувалась відповідно до збільшення рівня забруднення (рис. 4.10). Так, найбільший їх вміст 0,32 та 0,34 мг/г сирої речовини відмічений у хвої *P. abies* та *P. pungens* у вересні (за умов високого рівня забруднення), що на 18,5% та 21,4% більше порівняно з деревами контролю. Близькі значення зафіксовані при аналізі зразків хвої рослин обох видів на ділянках із помірним рівнем забруднення, що свідчить про їх захисну реакцію до дії аеротоксикантів. Збільшення каротиноїдів в кінці вегетації також пояснюється підготовкою рослин до стану спокою та адаптивною реакцією, спрямованою на підвищення стійкості фотосинтетичного апарату, запобігання фотодинамічної деструкції в холодну пору року [159].

Найменша кількість каротиноїдів у хвої дерев *P. abies* та *P. pungens*, зафіксована на всіх ділянках у травні, особливо у рослин з насаджень контролю (0,20 мг/г сирої речовини та 0,22 мг/г сирої речовини). Протягом п'яти місяців відзначено несуттєву різницю вмісту каротиноїдів у хвої дерев обох видів *Picea* на всіх досліджених ділянках. Проте збільшення вмісту каротиноїдів у пігментних комплексах дерев біля промислових підприємств та автошляхів порівняно з об'єктами досліджень на ділянках із незначним

рівнем забруднення слід трактувати як їх захисну реакцію на техногенний вплив.

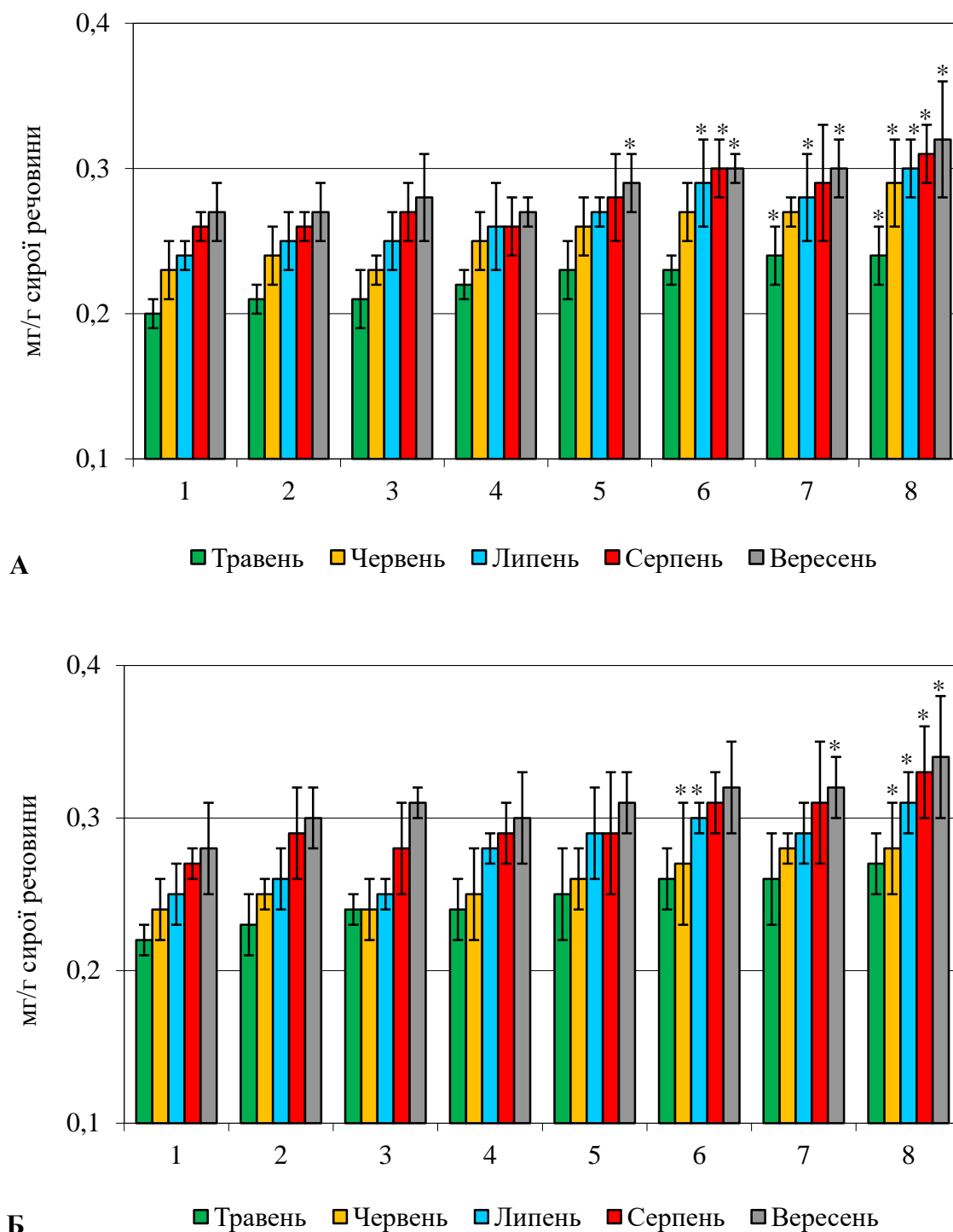


Рис. 4.10. Кількість каротиноїдів в хвої *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з різних насаджень м. Кривий Ріг (n = 5; значення достовірно відрізняються від контролю * – при P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

Важливу роль у роботі фотосинтетичного апарату відіграє й відношення суми хлорофілів до каротиноїдів. Цей показник відображає чутливу реакцію хвойних рослин на різні зміни середовища. Якщо сума хлорофілів ($a+b$) на забруднених ділянках зменшується, а кількість каротиноїдів збільшується, то відповідно відношення (хл $a+b$)/кар. у хвої дерев понижується. Загалом наведені дані (рис. 4.11) свідчать, що з настанням осені цей показник знижується, особливо в техногенних умовах, що є проявом негативної дії токсичних речовин.

Так, мінімальні значення (2,74 мг/г сирої речовини та 3,04 мг/г сирої речовини) у хвої дерев *P. abies* та *P. pungens* було зафіксовано у вересні на ділянці 8 (високий рівень забруднення), що на 30,6% та 40,3% менше порівняно з рослинами контролю. Схожі показники відношення (хл $a+b$)/кар. відмічені у деревостанів, що зростають на ділянці 7, яка також підпадає під вплив високого рівня забруднення. Зменшення значення даного співвідношення свідчить про погіршення фотосинтетичної активності дерев в умовах забруднення атмосферного повітря.

Зі збільшенням відстані насаджень *Picea* від територій з високим рівнем промислових викидів співвідношення (хл $a+b$)/кар. у хвої ялин підвищується за рахунок кращої роботи фотосинтетичних пігментів. Максимальне значення (хл $a+b$)/кар. було відмічено в травні (7,12 мг/г сирої речовини та 7,90 мг/г сирої речовини) у хвої дерев *P. abies* та *P. pungens*, що зростають в контролі, що в середньому на 27,7% та 33,1% більше порівняно з рослинами, що зростали за умов сильного рівня забруднення та вище на 18,4% та 25,2% порівняно з рослинами насаджень, які зазнають помірного впливу забруднення, відповідно.

Діапазон умісту пігментів у фотосинтетичному апараті хвойних протягом року залежить від кліматичних умов і екологічних факторів урботехногенного середовища [159]. 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.

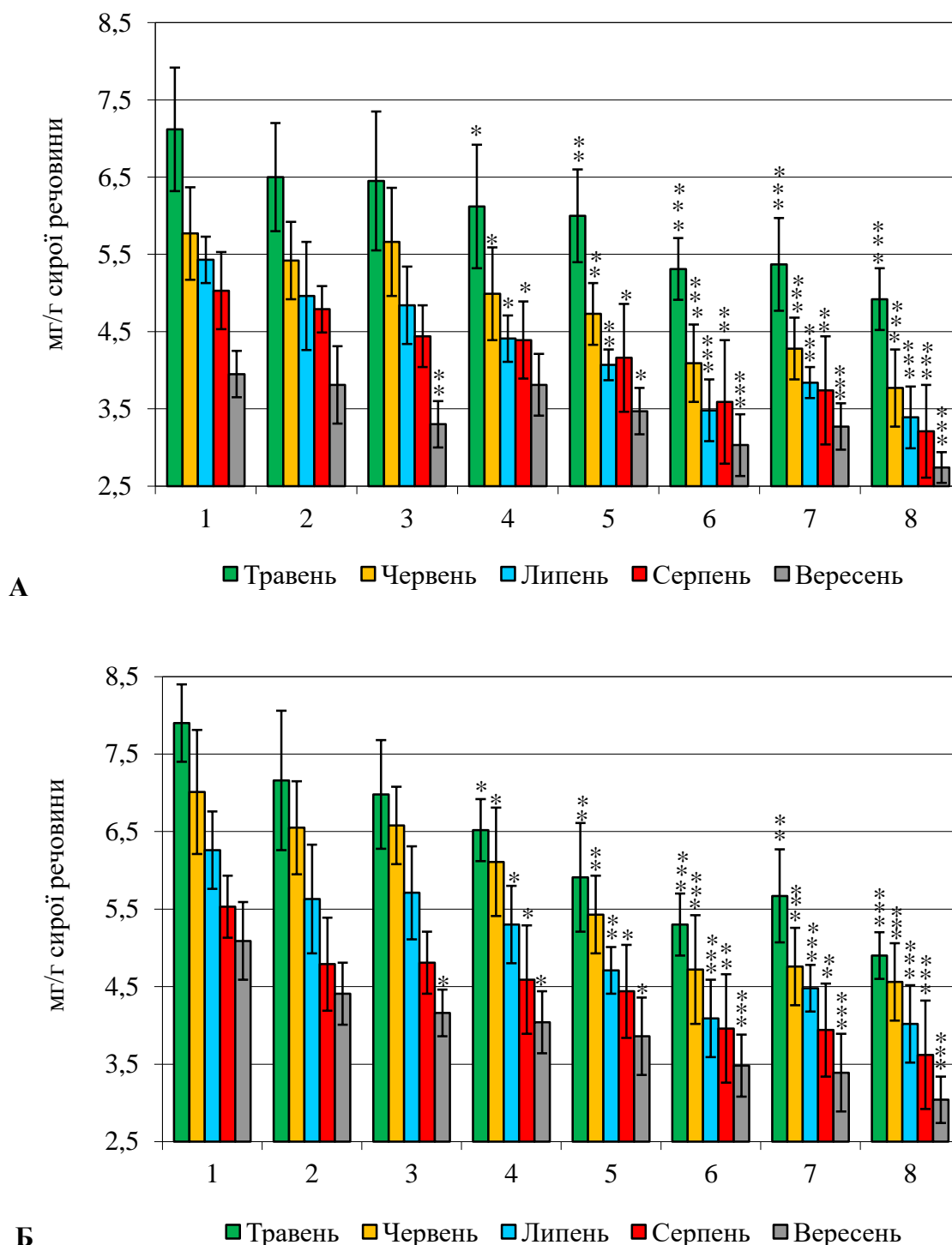


Рис. 4.11. Співвідношення суми (хл $a+b$)/кар) у хвої дерев *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) з насаджень м. Кривий Ріг ($n = 5$; значення достовірно відрізняються від контролю * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 4.2

Таким чином, результати проведених нами досліджень щодо впливу забруднення атмосфери викидами автомобілів та техногенними токсикантами промислових підприємств на пігментний комплекс хвойних рослин в насадженнях м. Кривий Ріг показали, що зі збільшенням рівня концентрації аерополітантів відбуваються суттєві зміни в кількості та пропорціях його окремих компонентів. Оперативна реакція рослин на стрес, яка відбувається на фізіолого-біохімічному рівні, в подальшому позначається на життєвому стані та декоративності рослин.

Висновки по розділу:

1. При комплексному дослідженні стану асиміляційних органів дерев *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях м. Кривий Ріг встановлено, що на обидва види значно впливає техногенне забруднення, що відображається переважно у зменшенні анатомо-морфометричних параметрів хвої у межах 7,1–43,4%. Однак потовщення ендодерми та збільшення діаметру ЦПЦ у *P. pungens*, на відміну від *P. abies* свідчить про кращу адаптаційну здатність та стійкість виду до аеротехногенного впливу.

2. Відмічено зниження вмісту хлорофілів *a* та *b* у хвої обох видів роду *Picea* з травня по вересень в насадженнях за умов помірного та високого рівнів забруднення порівняно з ділянками із незначним рівнем забруднення. При цьому в більшій мірі зменшується кількість хлорофілу *a*, ніж хлорофілу *b*. Виявлено, що вміст суми хлорофілів (*a+b*) та їх співвідношення у хвої *P. abies* та *P. pungens* протягом вегетаційного періоду збільшувався при віддаленні насаджень від промислових підприємств та автошляхів, досягаючи максимумів показників у травні, а мінімальних – у вересні.

3. Встановлено, що зі збільшенням рівня забруднення вміст каротиноїдів зростає, що пов'язано з їх захисною функцією та можна розглядати як прояв адаптивної реакції *P. abies* та особливо *P. pungens* на вплив аерогенних токсикантів.

4. Виявлено, що у *P. abies* вміст всіх пігментів має менші величини, ніж у *P. pungens*, що свідчить про більшу стійкість асиміляційного апарату останнього виду. Доведено, що найбільший негативний вплив на вміст фотосинтетичних пігментів у хвої ялин здійснюють викиди промислових підприємств, тоді як реакція до дії автотранспортних викидів полягає у збільшенні кількості адаптивних реакцій.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

РОЗДІЛ 5

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

Останні 30–40 років хвойні дерева досліджуються як можливі біоіндикатори аеротехногенного забрудненого середовища. Особлива увага приділяється їх генеративній сфері, зокрема життєздатності та фертильності пилку, кількості його аномалій, що використовується в якості показників реакції рослин на забруднювачі повітря [31, 74, 151, 219, 293]. Генеративні структури хвойних чутливі до аеротехногенного забруднення, оскільки їх розвиток багатоступінчастий і розтягнутий у часі – це збільшує ймовірність прямого впливу на них політантив [253, 293]. Види роду *Picea* A. Dietr. не завжди відзначаються високою стійкістю до умов урботехногенного середовища, що, зокрема, виявляється в зниженні життєздатності та якості пилку, а також у збільшенні кількості аномальних пилкових зерен [44, 90, 93]. Ці два види цікаві не тільки як перспективні індикатори стану повітряного середовища, а й як такі, що очевидно відрізняються за проявами реакції на різноякісне аерополітантичне забруднення. В цьому плані чутливим показником щодо техногенних впливів є чоловіча генеративна сфера ялин, зокрема, морфо-фізіологічні якості пилку.

5.1. Морфометричні показники пилку, фертильність та його життєздатність у видів роду *Picea* за дії аерополітантив

Пилок з восьми досліджених насаджень видів роду *Picea*, відрізнявся за морфометричними параметрами (табл. 5.1). У *P. abies* пилок має дещо менший розмір, ніж у *P. pungens*. Тіло пилкового зерна округле або дещо витягнутої форми з двома повітряними мішками (рис. 5.1). Частка нормально розвиненого за морфометричними показниками пилку максимальною була у дерев *P. abies* та *P. pungens* із насаджень контролю. Спостерігався середній рівень мінливості (CV, 4,7–16,8%) для всіх

морфометричних показників пилку в рослин обох видів, тобто такий, що не залежить від умов зростання рослин. 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 у 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. У насадженнях при помірному забрудненні 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 контрольною ділянкою. Зниження розмірів пилкових зерен є підтвердженням чутливості пилку до рівня забруднення повітря.

Найбільші розміри повітряних мішків пилкових зерен за довжиною й висотою у *P. abies* та *P. pungens* зафіксовані на ділянках із незначним рівнем забруднення, а найменші – в дерев за високого рівня промислових викидів та помірного впливу вихлопних газів автотранспорту (табл. 5.1). Середня довжина повітряних мішків пилку у рослин *P. abies* за умов сильного та помірного рівнів забруднення нижча на 17,9 і 12,8%, а висота – на 19,1 і 14,5% порівняно з пилком 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 рослин із контролю. Встановлено, що на всіх ділянках при різному рівні забруднення відношення довжини тіла пилку (l) до його висоти (h) у рослин обох видів завжди було вище одиниці (1,1–1,3), а відношення довжини повітряного мішка до його висоти, навпаки, менше (0,8–0,9), що відповідає нормальному формуванню та розвитку будови пилкових зерен [253, 339].

Таблиця 5.1

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

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Пилкове зерно, мкм						Повітряний мішок, мкм			
		довжина пилку		довжина тіла		висота тіла		довжина		висота	
		M±m	CV %	M±m	CV %	M±m	CV %	M±m	CV %	M±m	CV %
<i>Picea abies</i>											
Незначний	1	113,0±0,80	7,1	82,4±0,95	11,5	73,1±0,64	8,7	44,5±0,31	7,0	51,2±0,56	10,8
	2	110,3±0,52**	4,7	81,1±0,78	9,5	72,2±0,54	7,4	42,7±0,34***	8,0	49,5±0,43*	8,6
	3	107,7±0,63***	5,8	78,4±0,85**	10,8	69,1±0,48*	6,9	40,9±0,33***	8,1	47,0±0,42***	8,8
Помірний	4	105,8±0,96***	9,1	76,5±1,07***	13,9	67,0±0,96***	14,2	40,0±0,46***	11,5	45,3±0,44***	9,6
	5	103,1±1,11***	10,7	73,5±1,16***	15,7	65,9±0,89***	13,4	38,4±0,38***	9,9	43,6±0,52***	11,8
	6	102,2±0,67***	6,5	67,3±0,85***	12,6	61,5±0,52***	8,3	37,9±0,36***	9,3	42,5±0,39***	9,1
Високий	7	96,7±0,67***	6,9	64,6±0,91***	14,1	59,6±0,76***	12,6	37,5±0,42***	11,2	42,0±0,48***	11,4
	8	91,5±0,77***	8,4	62,5±1,06***	16,8	57,3±0,78***	13,5	35,6±0,32***	8,8	40,8±0,44***	10,7
<i>Picea pungens</i>											
Незначний	1	118,5±0,71	6,0	91,0±0,79	8,6	74,3±0,86	11,5	48,6±0,33	6,7	57,4±0,70	12,1
	2	114,5±0,68***	5,9	85,4±0,87***	10,2	73,8±0,61	8,2	48,8±0,49	10,0	55,6±0,55*	9,9
	3	112,9±0,68***	6,0	84,3±0,73***	8,6	73,4±0,65	8,8	46,6±0,44***	9,4	54,4±0,43***	7,9
Помірний	4	109,8±0,77***	7,0	82,5±1,00***	12,0	72,4±0,53*	7,3	43,0±0,42***	9,7	49,6±0,47***	9,4
	5	107,5±0,91***	8,4	77,2±1,10***	14,2	68,5±0,79***	11,5	40,8±0,56***	13,7	47,8±0,59***	12,2
	6	106,8±0,80***	7,5	76,8±0,91***	11,8	67,1±0,86***	12,8	40,7±0,47***	11,5	47,4±0,52***	10,9
Високий	7	102,1±0,93***	9,0	71,6±0,95***	13,2	64,2±0,92***	14,3	39,6±0,56***	14,1	45,7±0,44***	9,6
	8	101,7±0,93***	9,1	67,9±0,91***	13,3	63,2±0,68***	10,7	37,4±0,51***	13,5	44,3±0,41***	9,2

Примітка для табл. 5.1–5.2: відмінності достовірні за *t*-критерієм Стьюдента: * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

M±m. – середнє значення з помилкою

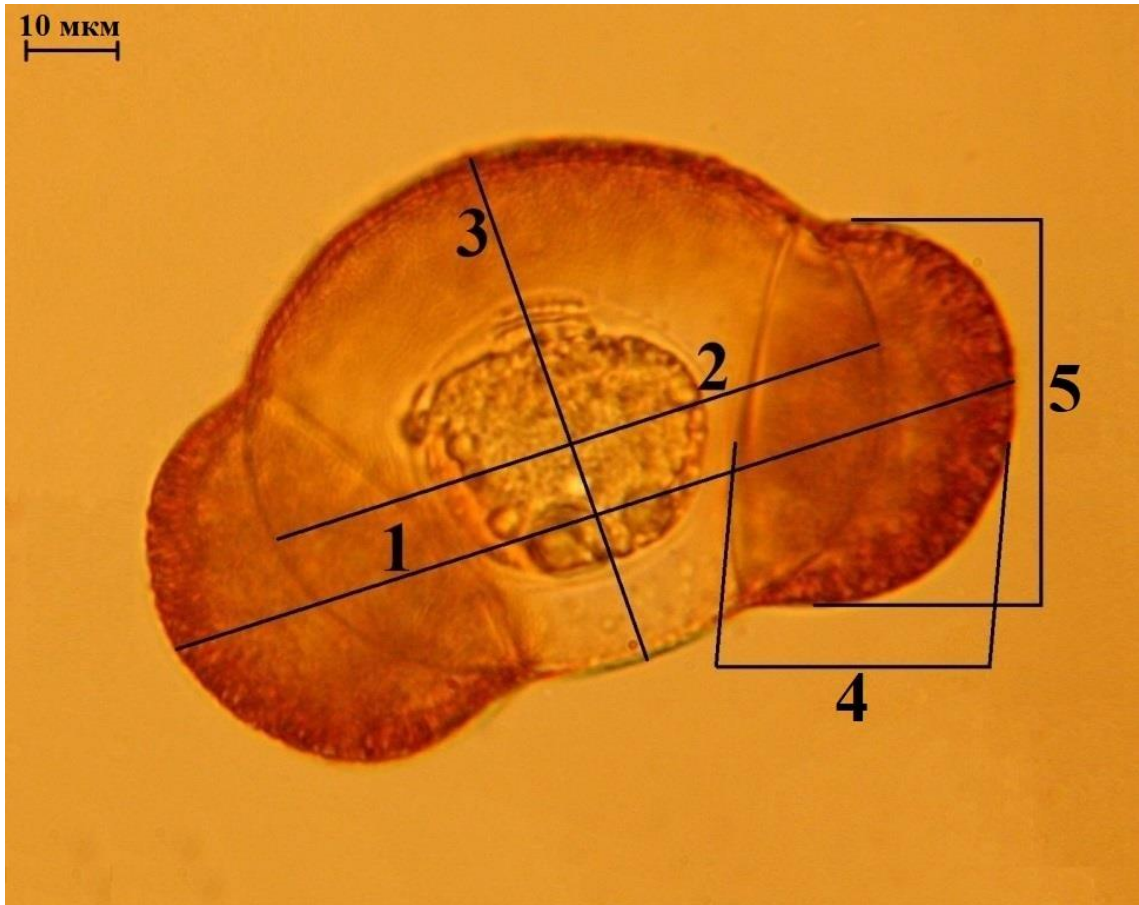


Рис. 5.1. Схема вимірів пилку і повітряних мішків у нормально розвиненого пилкового зерна ялин: 1 – довжина пилкового зерна; 2 – довжина тіла; 3 – висота тіла; 4 – довжина і 5 – висота повітряного мішка.

Наші дослідження показали, що на ділянках із незначним рівнем забруднення розміри пилкових зерен та повітряних мішків в обох видів ялин достовірно відрізнялися порівняно з деревами, що зростають в умовах помірного рівня забруднення і тих, що зазнають надмірного впливу викидів промислових комбінатів.

Для оцінки якості пилку та потенційної врожайності насіння визначають ступінь його фертильності – здатності до запліднення. З аналізу фертильності пилку видно, що найвищим цей показник був у рослин *P. pungens* із насаджень контролю – 86,8%, тоді як у *P. abies* він дещо менший – 83,8% (табл. 5.2).

Фертильність пилку в рослин насаджень *P. abies*, що ростуть на моніторинговій ділянці 8 із високим рівнем забруднення, становила 46,5%, а у *P. pungens* – 48,9%. При такому потужному впливі аеротехногенних викидів у ялин утворюється вдвічі більше стерильного пилку, ніж у дерев на ділянках із незначним рівнем забруднення. Порівняно з попередніми дослідженнями І.В. Макогон та І.І. Коршикова [93] фертильність пилку в насадженнях *P. pungens* є дещо вищою: біля металургійних підприємств Донбасу вона становила 71,8–82,3%. Очевидно, що пилок *P. pungens* з насаджень Кривого Рогу зазнає суттєвіших пошкоджень від впливу викидів промислових підприємств, що в подальшому може відобразитись на зниженні якості насіння ялин [43, 73]. Така реакція пилку може бути пов'язана з різним кількісно-якісним складом викидів підприємств, що досліджувалися, а також загальним життєвим станом рослин, які підпадають під вплив цих емісій. Слід зазначити, що викиди аерополітантив біля «АрселорМіттал Кривий Ріг» становлять більше 80%, згідно до публічних даних громадських організацій від загального обсягу емісій і промислових підприємств Кривого Рогу [44]. Високий загальний об'єм викидів, особливо пилу при видобутку й термічній обробці залізної руди створює значний рівень фонового забруднення як ґрунту, так і повітря.

Пилок з максимальними розмірами відзначався найбільшою життєздатністю при пророщуванні, що є істотно вищою, ніж у пилових зерен з мінімальними розмірами. Життєздатність пророщених пилових трубок у рослин *P. abies* коливалась в межах 48,3–75,3%, а у *P. pungens* 54,3–78,6% (табл. 5.2). Найвищим цей показник був у дерев *P. abies* та *P. pungens* із насаджень контролю, що у 1,6 та 1,4 рази більше порівняно з рослинами за умов високого рівня забруднення. Щодо показника довжини пилових трубок виявлено збільшення їх розмірів удвічі в умовах незначного рівня забруднення порівняно з тими, що зазнавали потужного впливу викидів промислових підприємств.

Таблиця 5.2

Фертильність та життєздатність пилку *Picea abies* та *Picea pungens* з насаджень на моніторингових ділянках

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Всього переглянуто пилкових зерен, шт.	Кількість фертильних пилкових зерен		Всього переглянуто пилкових зерен (2-3 день), шт.	Кількість життєздатних пилкових зерен		Довжина пилкових трубок (мкм) за температури, 25°C		
			шт.	%		шт.	%	Межі	M±m	CV %
<i>Picea abies</i>										
Незначний	1	3188	2673	83,8	6210	4674	75,3	89,7–229,4	150,7±3,64	25,0
	2	3225	2663	82,6	5984	4376	73,1	78,4–225,7	127,4±3,49***	27,3
	3	3264	2544	77,9	5967	4214	70,6	67,0–218,3	119,4±3,48***	29,0
Помірний	4	3220	2232	69,3	5785	3849	66,5	60,8–191,6	100,4±2,78***	27,6
	5	3152	1963	62,3	5883	3592	61,1	57,0–186,4	94,7±3,47***	36,6
	6	3223	1904	59,1	5612	3245	57,8	55,2–177,6	87,6±2,14***	24,3
Високий	7	3094	1668	53,9	6118	3257	53,2	50,1–162,2	85,2±2,16***	25,2
	8	3117	1449	46,5	6232	3013	48,3	47,7–159,5	71,2±1,94***	27,1
<i>Picea pungens</i>										
Незначний	1	3282	2848	86,8	6086	4785	78,6	113,3–228,4	151,8±2,43	15,9
	2	3172	2725	85,9	5562	4233	76,1	95,1–224,0	142,9±3,13***	21,8
	3	3249	2729	84,1	5829	4337	74,4	61,3–195,0	123,9±2,64***	21,2
Помірний	4	3164	2413	76,3	5843	4015	68,7	49,4–205,2	122,1±4,53***	36,9
	5	3077	2088	67,9	5784	3698	63,9	54,0–198,2	120,7±3,29***	27,1
	6	3141	1924	61,3	6031	3662	60,7	61,2–196,4	99,2±2,92***	29,3
Високий	7	3163	1746	55,2	5962	3489	58,5	47,4–179,7	95,0±2,39***	25,0
	8	3195	1563	48,9	5921	3216	54,3	44,6–165,1	81,2±2,32***	28,4

Життєздатність пилку, схожість і довжина пилкової трубки у обох видів ялин були вищими на ділянці 4, яка характеризується помірним рівнем забруднення при незначному потоці автотранспорту в порівнянні з моніторинговими ділянками 5 та особливо 6, що знаходяться біля шляхів з інтенсивним автотранспортним рухом.

Таким чином, збільшення впливу аеротехногенного забруднення, в умовах міського середовища, призводить як у *P. abies*, так і *P. pungens* до зростання відносної кількості пилку, що при пророщуванні в лабораторних умовах має меншу довжину пилкових трубок. Фактично це може призвести до зменшення рівня запліднення насінневих зачатків і кількості повнозрілого насіння в рослин, які зазнають суттєвого впливу аерополітантів [41, 44].

Вищі показники фертильності й життєздатності пилку у *P. pungens*, порівняно з *P. abies*, свідчать про її вираженішу стрестолерантність щодо аеротоксикантів.

5.2. Аномалії пилкових зерен в насадженнях, що зазнають різнорівневого аеротехногенного впливу

У рослин видів роду *Picea*, які зазнають помірного та високого рівня забруднення, не тільки погіршувалась якість пилку, а й утворювалось значно більше аномальних пилкових зерен (табл. 5.3) із ширшим спектром аномалій (рис. 5.2), ніж у дерев із малозабруднених насаджень [42, 45]. Зокрема, кількість незрілого, деформованого і дегенеруючого пилку в рослин *P. abies* зростала у середньому в 1,7 та 2,4 разів, а у *P. pungens*, відповідно, у 1,6 та 2,6 разів порівняно з деревами за незначного рівня забруднення. Найменша кількість пилку з аномаліями у *P. pungens* та *P. abies* відмічена у рослин з насаджень контролю – 9,0 та 9,2%, що в середньому у 2,2 і 3,5, а також у 2,4 і 3,6 разів менше відповідно порівняно з деревами, що зростають за умов помірного та високого рівнів забруднення.

Таблиця 5.3

Відносна кількість (%) аномального пилку в дерев *Picea abies* та *Picea pungens*

з насаджень на моніторингових ділянках

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Всього аномалій, %	Структура типових аномалій, % їхньої загальної кількості												
			недорозвинені, деградовані та деформовані пилкові зерна	Пилкові зерна зі зміненими розмірами		Аномальні за розміром повітряні мішки по відношенню до тіла		пилкові зерна							
				“карлик”	“гігант”	великі	малі	з різними розмірами мішків	з одним мішком	з 3-4 повітряними мішками	без мішків	мішки, які зрослися	комірцева форма	“бахрома” замість тіла і мішків	лінзоподібна форма
<i>Picea abies</i>															
Незначний	1	9,2	6,4	1,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	–	0,3	–	–	–	–
	2	11,0	7,8	1,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,1	0,3	0,1	–	0,1	–	–
	3	14,4	10,7	1,0	0,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,3	0,3	–	0,1	–	–
Помірний	4	17,4	11,4	2,0	1,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	–	0,2	0,1	–
	5	23,5	14,2	2,6	1,4	0,7	0,3	1,0	0,6	0,5	0,8	0,2	0,5	0,7	–
	6	24,7	15,5	2,5	1,6	0,5	0,3	1,7	0,6	0,4	0,4	0,1	0,3	0,5	0,3
Високий	7	30,2	18,3	3,1	1,2	0,9	0,2	2,6	1,2	0,8	0,5	0,3	0,4	0,7	–
	8	35,9	21,2	3,2	2,1	2,4	0,6	2,8	0,8	0,5	0,4	0,1	0,5	0,6	0,7
<i>Picea pungens</i>															
Незначний	1	9,0	7,3	0,4	0,2	0,1	0,3	–	0,2	0,3	0,2	–	–	–	–
	2	10,2	6,6	1,6	0,7	0,2	0,3	0,2	–	0,2	0,4	–	–	–	–
	3	11,4	7,7	1,8	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	–	0,1	–	–
Помірний	4	13,7	9,1	1,5	1,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	–	–	0,1	–
	5	18,8	11,2	2,1	1,5	0,6	0,3	1,1	0,4	0,5	0,6	–	0,2	0,3	–
	6	25,1	15,2	4,5	0,9	0,4	0,3	0,9	0,6	0,6	0,5	0,1	0,1	0,4	0,6
Високий	7	29,2	17,5	4,6	1,7	0,7	0,2	1,5	0,5	1,4	0,4	0,2	0,3	0,2	–
	8	33,6	20,2	4,1	2,7	1,2	0,2	1,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,4	0,5	0,3

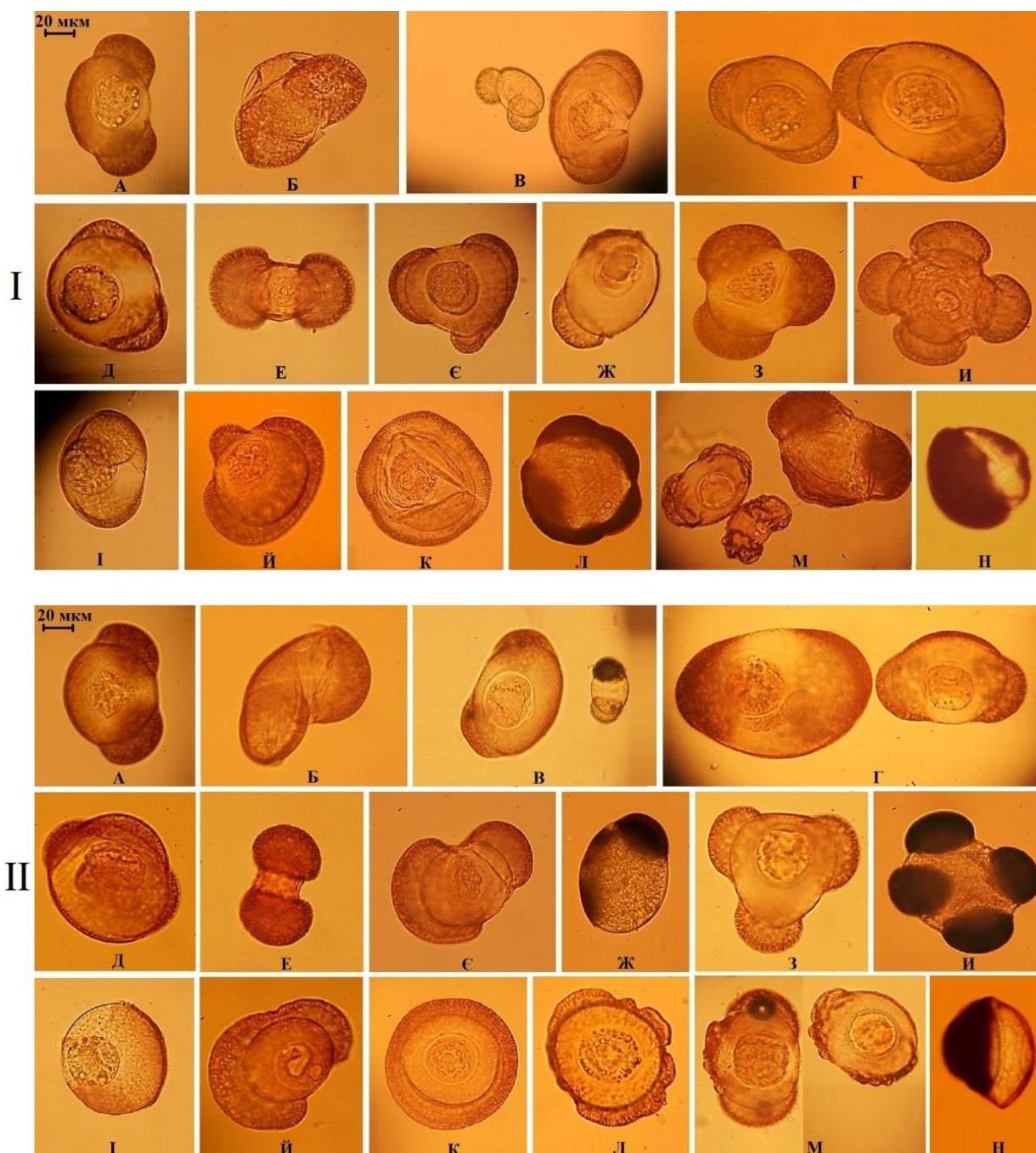


Рис. 5.2. Нормальний пилкок (А) і пилкок з аномаліями (Б–Н) у дерев *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з насаджень із різним рівнем аеротехногенного забруднення в умовах Кривого Рогу: А – нормальне пилкове зерно (п.з.), Б – недорозвинене п.з., В – “карликове” п.з., Г – “гігантське” п.з., Д – з 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 –

пилкок комірцевої форми, Л – пилкок комірцевої форми у вигляді “бахроми”, М – “бахрома” замість тіла та повітряних мішків, Н – лінзоподібна форма.

Аномалії відмічені не лише у будові пилку, а й при пророщуванні візуально нормальних пилкових зерен у рослин обох видів *Picea* (табл. 5.4). Усі виявлені типи аномалій пилкових трубок (рис. 5.3) із різною частотою трапляються в усіх насадженнях Криворіжжя.

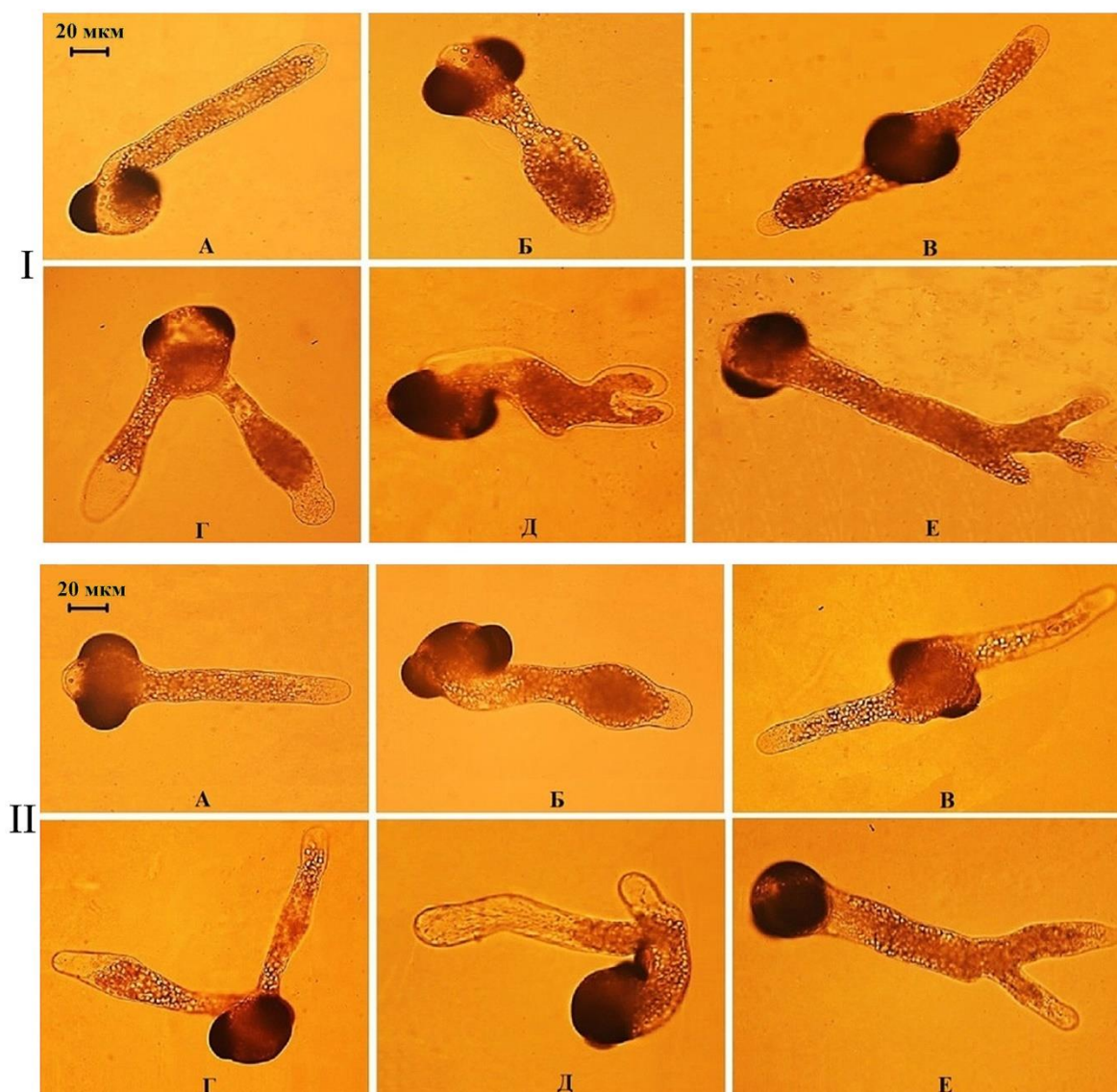


Рис. 5.3. Вигляд пилкових трубок при пророщуванні пилку в дерев *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з насаджень м. Кривий Ріг: А – нормальна; аномалії: Б – потовщення, В – дорсовентральне проростання пилку, Г –

утворення двох трубок у дорсальній частині пилку, Д – викривлення, Е – розгалуження за типом “оленячі роги”

Частка аномалій росту пилкових трубок: потовщення (рис. 5.3, (Б), дорсовентральне проростання пилку (рис. 5.3, (В), утворення двох трубок у дорсальній частині пилку (рис. 5.3, (Г) та викривлення (рис. 5.3, (Д) в дерев *P. abies*, у насадженнях за високого рівня промислових викидів на ділянці 8 була більшою ніж в рослин із ділянок контролю у 2,6; 5,8; 3,4; 2,3 разів.

При цьому у *P. pungens* з тими ж типами аномалій пилку частка патологій збільшувалась у 5,0; 1,4; 2,9; 8,7 разів відповідно (табл. 5.4). Найбільшу частку аномалій пилкових трубок із розгалуженням типу “оленячі роги” (рис. 5.3, (Е) виявлено у рослин *P. abies* за умов високого рівня забруднення, а саме на ділянці 7: 8,4%, що у 5,3 разів більше, ніж у рослин з насаджень контролю.

Таблиця 5.4

Кількість (%) та структура аномалій пилкових трубок при пророщуванні пилку *Picea abies* та *Picea pungens*, зібраного в насадженнях Кривого Рогу

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Частка пилкових зерен з аномальними трубками, %	Структура аномалій (% загальної кількості)				
			потовщення пилкових трубок	дорсовентральне проростання пилкових зерен	викривлення пилкових трубок	розгалуження за типом “оленячі роги”	утворення двох трубок у дорсальній частині пилкового зерна
<i>Picea abies</i>							
Незначний	1	9,5	2,9	0,8	2,6	1,6	1,6
	2	10,9	5,1	1,2	1,9	1,0	1,6
	3	13,4	3,8	1,3	1,7	2,6	4,0
Помірний	4	16,9	4,3	1,6	3,2	3,4	4,4
	5	19,4	4,7	2,0	3,1	4,4	5,2
	6	20,0	5,6	2,7	3,3	3,1	5,3
Високий	7	26,4	6,0	2,9	3,6	8,4	5,5
	8	29,5	7,6	4,6	6,1	5,7	5,5

<i>Picea pungens</i>							
Незначний	1	8,8	2,1	2,7	0,3	2,2	1,5
	2	10,2	3,3	2,6	1,2	1,4	1,7
	3	12,4	3,1	1,7	1,3	2,3	4,0
Помірний	4	15,4	4,4	3,3	1,4	2,4	4,0
	5	18,5	4,1	3,6	1,2	5,2	4,4
	6	21,5	7,1	4,7	1,6	3,3	4,8
Високий	7	24,7	6,5	3,9	2,2	7,3	4,7
	8	27,4	10,6	3,8	2,6	6,2	4,3

Дерева обох видів роду *Picea* в насадженнях біля промислових підприємств мали удвічі менше пилкових зерен з аномальним розвитком трубок при пророщуванні, ніж *Pinus sylvestris*, дослідження пилку якої проводилось раніше на цій же території [71].

Сукупна максимальна частка аномальних пилкових трубок виявлена при пророщуванні пилку, зібраного з дерев *P. abies* та *P. pungens* за високого рівня забруднення на ділянці 8, що у 3,1 рази більше порівняно з пилком рослин з контролю. Схожими є ці показники у обох видів ялин на ділянці 6, яка підпадає під вплив помірного рівня забруднення (інтенсивний автотранспортний рух), що у 2,4 рази більше, ніж у контрольних рослин з ботанічного саду (табл. 5.4).

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

Висновки по розділу:

1. Максимальні розміри довжини пилкових зерен (113,0 та 118,5 мкм), найвища життєздатність (75,3 та 78,6%) і фертильність пилку (83,8 та 86,8%) відмічені відповідно у рослин *P. abies* та *P. pungens* з насаджень контролю. Мінімальні показники довжини пилку в обох видів (відповідно 91,5 і 101,7 мкм), найнижча життєздатність (48,3 та 54,3%) та фертильність пилку (46,5 та 48,9%) встановлені для дерев, що підпадають під потужний вплив викидів промислових підприємств.

2. Встановлено вісім типів аномалій пилку в рослин обох видів з насаджень контролю і 13 типів у рослин за умов високого та помірного рівня забруднення. Найбільша частка аномального пилку, як і його спектр, виявлені у дерев *P. abies* та *P. pungens* біля гірничо-збагачувального та металургійного підприємств: у 3,6 разів більше, ніж у рослин з насаджень контролю. Такий же ступінь впливу промислових викидів на фізіологічний стан пилку (у вигляді патологій пилкових трубок) виявлено при пророщуванні пилку в лабораторних умовах. Таким чином, показники відносної частки тератоморфного пилку в рослин обох видів та аномалій розвитку пилкових трубок при його пророщуванні можуть бути використані для індикації рівня аеротехногенного забруднення середовища у промислових містах України.

3. Виявлено, що вид *P. abies* більш чутливий до аеротехногенного забруднення, ніж *P. pungens* про що свідчить нижчий відсоток життєздатності та фертильності пилку, а також вищий відсоток його аномалій.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

1. Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І. Характеристика пилку *Picea abies* в насадженнях Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2017. № 4 (76). С. 56–62.

2. Гусейнова (Федорчак) Е.Р. Якість пилку *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.
3. Гусейнова (Федорчак) Е.Р. Репродуктивна сфера *Picea abies* та *P. pungens* ‘Glausa’ в насадженнях м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених, 2–5 вересня 2018 р.* Кирилівка, 2018. С. 42.
4. Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І. Біоекологічні особливості *Picea abies* та *P. pungens* ‘Glausa’ 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.
5. 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.

РОЗДІЛ 6

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

Одними з важливих показників адаптації інтродукованих рослин є формування і розвиток генеративних органів, ембріогенезу в різних кліматичних умовах, особливо при антропічному навантаженні [271]. У степовій зоні України хвойні змушені адаптуватись до несприятливого кліматичного режиму, а в умовах індустріальних центрів – і до техногенно забрудненого середовища. Їх біоекологічний потенціал дещо змінений, тому генеративна сфера чутливіша до змін навколишнього середовища порівняно з аборигенними видами, особливо в урботехногенних екотопах [38]. Вплив цих факторів в поєднанні зі спадковістю відбивається на насіннєвій продуктивності рослин. В процесі розвитку генеративних органів та дозрівання насіння в нових несприятливих екологічних умовах у інтродуцентів іноді спостерігаються аномалії, що негативно впливають на якість насіння або призводять до повної втрати їх життєздатності [38, 41]. Тому вивчення насіннєвої продуктивності в нових умовах вирощування, особливо в техногенних, дозволяє оцінити адаптаційний потенціал інтродуцентів [109]. Дослідження якості насіння і насіннєвої продуктивності рослин актуально як теоретично – для розуміння механізмів пошкодження та процесів адаптації рослин в умовах урбосередовища, так і практично – для визначення потенційної здатності рослин із насаджень в зонах сильного забруднення до формування повнозрілого насіння, а також для організації біомоніторингу.

6.1. Врожайність шишок і насіннєва продуктивність рослин в урботехногенному середовищі

Врожайність шишок залежить як від біологічних особливостей виду, так і від екологічних факторів, до яких відносять кліматичний режим та

техногенно обумовлені зміни середовища існування хвойних рослин. У ході наших досліджень встановлено середню врожайність шишок, яка достовірно розрізняється у двох видів і складає 2,1–4,4 бали для рослин *P. abies* та 1,2–3,4 бали для *P. pungens* (рис. 6.1). При цьому врожайність шишок істотно не змінюється з року в рік [66]. Виключенням є лише *P. pungens* ‘Glauca’: величина даного показника у цієї форми варіює від 0 до 5 балів. У інших інтродуцентів роду *Picea* середня врожайність становить 3–4 бали [66]. Найкраща врожайність шишок у рослин *P. abies* відмічена в насадженнях контролю, що у 1,2 та 2,0 рази більше порівняно з деревами, які зростають в умовах помірного та високого рівня техногенного навантаження; у *P. pungens* ці показники більші у 1,4 та 2,6 рази відповідно. За зростання рівня забруднення у ялин спостерігалось зменшення кількості шишок; вони розміщувалися лише на верхівці крони. Відмічено, що врожайність шишок і якість насіння у інтродукованих видів у 2–5 раз нижча, ніж у аборигенних видів [195, 309].

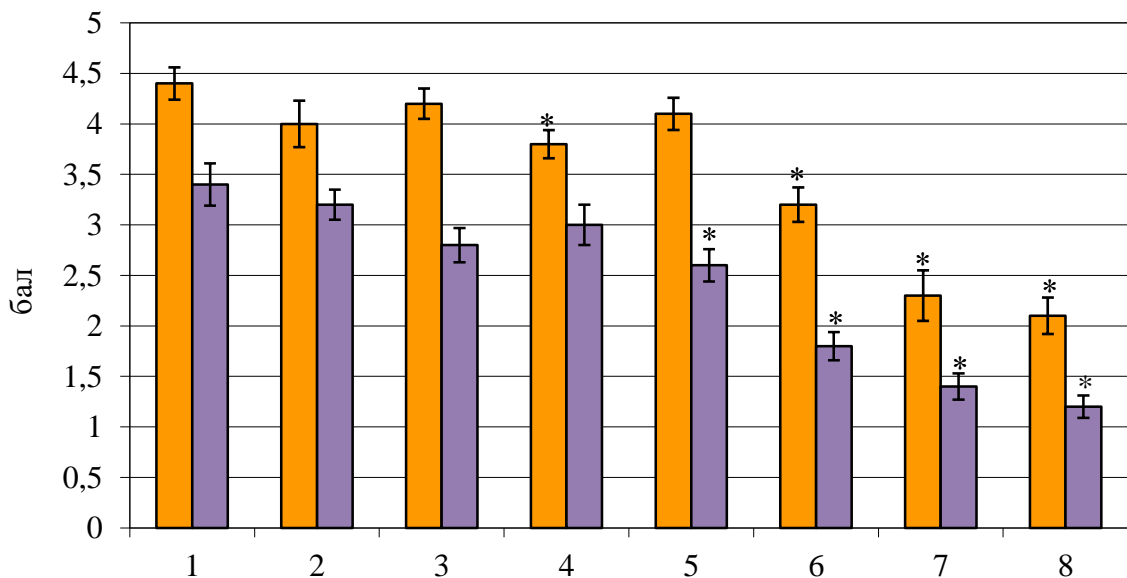


Рис. 6.1. Середня врожайність шишок у рослин *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ з різних типів насадження Кривого Рогу

Назви моніторингових ділянок: 1 – КБС, 2 – парк Шахтарський, 3 – парк Героїв АТО, 4 – вул. Черкасова, 5 – вул. Ватутіна, 6 – проспект Металургів, 7 – «ПівнГЗК», 8 – «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Нормально розвинені жіночі шишки з насаджень контролю мали максимальні параметри довжини та ширини серед макростробілів всіх досліджуваних насаджень (рис. 6.2) та в середньому складали у дерев *P. abies* 108,4 мм та 28,6 мм, а у *P. pungens* – 88,7 мм та 24,7 мм відповідно (табл. 6.1).



I.



II.

Рис. 6.2. Шишки рослин *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з різних типів насаджень Кривого Рогу

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 6.1.

Таблиця 6.1

Морфометричні показники жіночих генеративних органів рослин *Picea abies* та *Picea pungens*
на моніторингових ділянках

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Довжина шишки, мм	Ширина шишки, мм	Кількість лусок на одну шишку			Кількість насінин на одну шишку			
				всього	фертильних	стерильних	всього	повнозрілих	пустих	недорозвинених
<i>Picea abies</i>										
Незначний	1	108,4±2,4	28,6±0,3	170,8±3,2	117,7±3,3	53,1±2,1	217,2±4,6	67,7±3,4	96,9±3,4	52,6±1,9
	2	105,1±2,7	28,1±0,4	170,1±3,5	116,5±3,3	53,6±2,0	213,5±4,4	61,2±3,5	99,5±3,5	52,8±1,6
	3	103,6±2,1	27,8±0,3	169,2±3,4	114,5±3,2	54,7±1,8	210,9±4,1	57,3±2,9*	100,2±3,1	53,4±1,9
Помірний	4	99,5±2,4**	26,9±0,4**	164,1±3,4	109,3±2,9	54,8±1,7	208,5±4,1	53,4±3,1**	100,4±3,2	54,7±1,8
	5	100,3±2,3*	27,3±0,4*	167,3±3,1	111,4±2,9	55,9±1,6	214,5±3,8	56,5±2,4**	102,8±2,7	55,2±2,1
	6	97,8±2,5**	26,8±0,5**	162,8±3,5	107,4±2,8*	55,4±1,9	209,2±3,7	49,9±2,5***	105,7±2,8	53,6±2,0
Високий	7	94,6±2,6***	26,5±0,5***	163,2±3,7	107,1±2,8*	56,1±1,7	206,8±3,6	46,5±2,7***	106,5±2,9	53,8±2,2
	8	92,3±2,7***	26,2±0,6***	159,9±4,5*	105,7±2,6**	54,2±1,9	203,9±3,4*	41,2±2,2***	107,3±2,9	55,4±2,1
<i>Picea pungens</i>										
Незначний	1	88,7±1,9	24,7±0,4	164,3±3,4	109,8±2,8	54,5±1,8	204,3±4,6	38,7±2,4	108,5±2,7	57,1±2,0
	2	86,9±2,1	24,2±0,3	162,7±3,1	107,1±2,5	55,6±1,7	202,9±4,2	35,6±2,2	110,4±2,8	56,9±2,0
	3	87,3±1,9	23,9±0,4	161,3±2,9	106,1±2,2	55,2±1,6	202,6±4,1	34,7±2,1	109,6±2,7	58,3±1,8
Помірний	4	82,4±1,9*	23,2±0,4**	162,1±2,8	105,4±2,1	56,7±1,5	200,9±3,7	29,9±1,8**	112,3±3,0	58,7±1,7
	5	79,6±2,4**	23,3±0,3*	159,4±2,3	102,6±1,8	56,8±1,5	203,2±3,9	31,4±1,8*	114,1±3,1	57,7±1,9
	6	77,3±2,5**	22,8±0,3***	161,4±2,2	104,3±1,9	57,1±1,4	197,1±3,8	29,6±1,6**	109,3±2,8	58,2±1,8
Високий	7	75,8±2,2***	22,6±0,4***	160,3±2,4	102,6±2,0*	57,7±1,4	200,2±4,2	26,7±1,7***	113,2±3,2	60,3±1,7
	8	73,9±2,5***	22,4±0,4***	157,9±2,3	100,8±1,8**	57,1±1,6	198,6±4,1	22,9±1,2***	116,5±3,5	59,2±1,5

Примітка для табл. 6.1–6.2: відмінності достовірні за *t*-критерієм Стьюдента: * – при $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

$M \pm m$. – середнє значення з помилкою

В ході досліджень нами виявлено шишки довжиною 116,9 мм у *P. abies* та 111,5 мм у *P. pungens* в насадженнях ботанічного саду (ділянка 1). Це значно більше за розміри шишок навіть в умовах природного ареалу, де їх довжина варіювала в межах 100,0–115,0 мм та 50,0–100,0 мм [166]. Коефіцієнт варіації для всіх морфометричних показників шишок в рослин обох видів із контрольного насадження знаходився в межах 5,6–12,1%, що відповідає низькому рівню мінливості. Найменші за розмірами шишки були відмічені в рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зростають за високого рівня промислових викидів на ділянці 8: довжина та ширина шишки відповідно, були у *P. abies* та *P. pungens* на 14,9%, 8,4% та 16,7%, 9,3% меншими, ніж у дерев з контролю. У насадженнях при помірному рівні забруднення морфометричні показники шишок у *P. abies* та *P. pungens* за такими ж параметрами в середньому були на 8,5%, 5,6% та 10,1%, 6,5%, менші порівняно з насадженнями контролю. Показник ширини шишки менш мінливий і за будь-яких умов зростання не перевищує 2–3 см [195].

Нами виявлено, що найменші біометричні параметри жіночих шишок були у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що ростуть у насадженнях, розташованих південніше від всіх інших. Такі зміни є відповідною реакцією рослин до комплексного впливу природних та антропогенних екологічних факторів. До того ж, біля металургійного комбінату, що є джерелом високого рівня забруднення атмосфери, спостерігалися не тільки мінімальні розміри шишок, а й їх деформація (викривлення тощо) (рис. 6.2). Під дією несприятливих чинників середовища ослаблені дерева не можуть задовільно забезпечувати постачання живильними речовинами бруньок з зачатками макростробілів, що і призводить до зменшення їх розмірів [38].

З довжиною шишки тісно пов'язана кількість лусок: як загальна так і частка фертильних; відповідно і кількість насіння в шишці [83, 232]. Середній показник загальної кількості лусок у жіночій шишці *P. abies* та *P. pungens* варіював у всіх насадженнях при різному рівні забруднення від 159,9 до 170,8 шт та 157,9–164,3 шт. Найменша кількість лусок фертильного

шару в шишках *P. abies* та *P. pungens* встановлена у дерев, що зростають на ділянці 8 із високих рівнем промислових викидів, що на 10,2% та 8,2% відповідно менше порівняно з контролем. Найбільше лусок стерильного шару було в шишках дерев *P. abies* та *P. pungens* на ділянці 7, яка також зазнавала надмірних промислових викидів – 56,1 шт та 57,7 шт, що на 5,6% та 5,9% більше порівняно з рослинами контролю. Загальна кількість лусок в жіночій шишці, кількість лусок стерильного і фертильного шарів в різних типах насаджень при всіх рівнях забруднення характеризувалися середнім рівнем мінливості.

У фертильному шарі, де зазвичай знаходиться нормально сформоване насіння, відмічено повнозріле, недорозвинене та пусте. Наявність останнього можна пояснити як результат ембріональної смертності та партеноспермії [109]. Загальна кількість насіння на одну шишку була найбільшою у рослин *P. abies* (217,2 шт) та у *P. pungens* (204,3 шт) з насаджень контролю, що на 5,5% та 2,4% більше порівняно з рослинами, що зазнавали найвищого впливу промислових викидів (табл. 6.1). Відмічена максимальна кількість насіння у шишці *P. abies* (337 шт) та *P. pungens* (298 шт) з ботанічного саду. Наші дослідження потенційної насінневої продуктивності ялин показали, що в екологічних умовах степової зони спостерігається регулярне формування насіння у жіночих шишках, що свідчить про високий адаптаційний потенціал обох видів [38, 160]. Проте негативний вплив урботехногенного середовища призводить до зменшення фактичної насінневої продуктивності у *P. abies* та *P. pungens*, а саме у 4,9 та 8,7 разів менше від загальної кількості насіння. Вихід повнозрілого насіння у рослин *P. abies* з насаджень контролю на 39,4% більший порівняно з *P. pungens*. Кількість повноцінного насіння у обох видів на територіях з незначним рівнем забруднення достовірно відрізнялась від такої у рослин, що зростають при помірному та високому рівні навантаження. Так, найменша кількість повнозрілого насіння була відмічена у *P. pungens* та *P. abies* на ділянках із високим рівнем впливу промислових викидів. На

восьмій ділянці – 22,9 шт та 41,2 шт на одну шишку, що на 40,8% та 39,1%, відповідно менше порівняно з контролем. Схожі показники були відмічені в таких же умовах на ділянці 7. Це свідчить про те, що у рослин недостатньо внутрішнього потенціалу для створення адаптивних механізмів реакції репродуктивної сфери на негативний вплив шкідливих викидів комбінатів гірничо-металургійного комплексу [38].

Одним з важливих показників успішності розвитку рослин є коефіцієнт продуктивності, який визначає ступінь реалізації потенційних можливостей видів у процесі насінневого розмноження. Даний показник у *P. abies* та *P. pungens* варіював в межах 20,2–31,2% та 11,5–18,9% (рис. 6.3).

Якщо аналізувати коефіцієнт продуктивності з точки зору рівнів фонового забруднення адміністративних районів, виявляється, що він найнижчий в обох видів ялин у Металургійному районі, де знаходяться моніторингові ділянки 3, 6, 8. Вищі показники притаманні особинам, які зростають у Покровському (ділянки 2, 5) та Тернівському районах (ділянки 1, 4, 7).

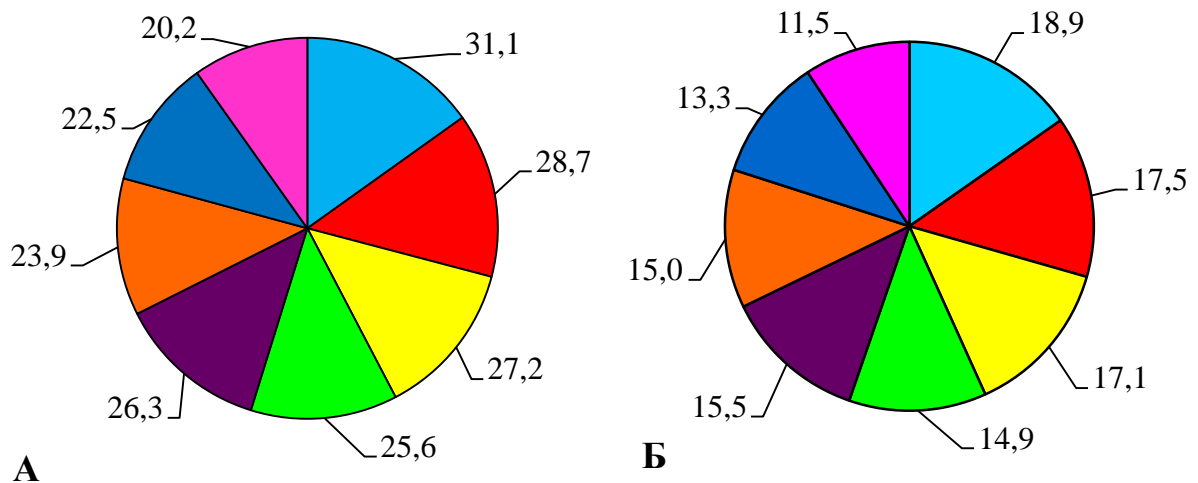
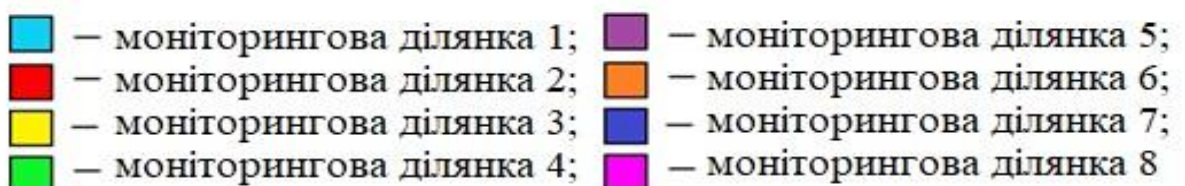


Рис. 6.3. Коефіцієнт продуктивності насіння *Picea abies* (А) та *Picea pungens* (Б) на моніторингових ділянках



Вплив аеротехногенного забруднення у дерев обох видів призводить до зменшення відносної кількості повнозрілого насіння та коефіцієнта його продуктивності, а також до збільшення рівня недорозвиненого і пустого насіння.

Максимальна кількість пустого насіння була відмічена у рослин *P. pungens* – 116,5 шт та у *P. abies* – 107,3 шт на одну шишку в умовах високого рівня промислових викидів на ділянці 8, що на 7,4% та 10,7% менше порівняно з насадженнями контролю (табл. 6.1). Частка пустого насіння у *P. abies* на ділянках з незначним, помірним та високим рівнем аеротехногенного навантаження в середньому становила 46,2%, 48,9%, 52,1%. У *P. pungens* ці показники, відповідно, були такими: 53,9%, 55,9%, 57,6%. При цьому показники фертильності і життєздатності пилку у обох видів в умовах інтродукції у середньому були досить високими, що сприяє подальшому успішному заплідненню та формуванню повнозрілого насіння [91, 93]. Кількість недорозвиненого насіння у *P. abies* та *P. pungens* у насадженнях Кривого Рогу коливалась від 24,2% до 27,2% та 27,9–30,1% відповідно. У нашому випадку значна частка порожнього і недорозвиненого насіння у видів роду *Picea* в умовах інтродукції зумовлена негативною дією аерополітантів на рослини та, можливо, є наслідком їх самозапилення.

6.2. Якість насіння видів роду *Picea* за умов різнорівневого забруднення

Надмірний рівень техногенного забруднення значно впливає на показники маси насінин, що виявляється в зниженні її абсолютного значення. В ході дослідження встановлено, що у *P. pungens* у всіх типах насаджень при різному рівні забруднення маса 1000 шт насінин достовірно менша, ніж у *P. abies* та варіює від 3,4 до 4,2 г та 5,4–6,9 г відповідно (табл. 6.2). Найбільша маса насіння у рослин двох видів зафіксована також у контрольних насадженнях, а найменша – у дерев *P. abies* та *P. pungens* із ділянок з високим та помірним рівнями забруднення, що в середньому нижче

на 18,8%, 10,1% та 17,9%, 11,9% відповідно до умовного контролю. Таке зниження маси насіння у ялин біля промислових підприємств та автошляхів, ймовірно, пов'язано із загальним ослабленням дерев під впливом дії аерополітантив. Слід зазначити, що від маси та розмірів насіння значною мірою залежать життєздатність сходів та подальший розвиток сіянців [118, 266].

Посівні якості насіння – сукупність його біологічних властивостей і ознак, які відображають особливості насіннєвого відновлення і є важливими при вивченні еколого-біологічних особливостей рослин, які підпадають під різний кількісно-якісний вплив аерополітантив. Серед багатьох показників, що характеризують посівні якості насіння, найбільш вживаними є енергія проростання та лабораторна схожість.

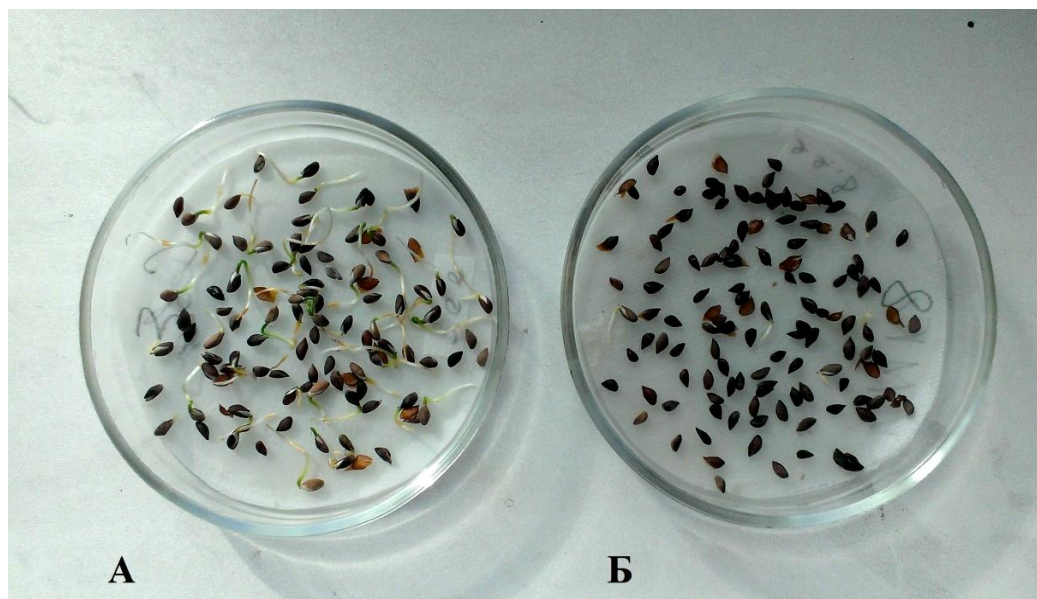
Показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння у *P. abies* з насаджень контролю були достовірно вищими, ніж у цих рослин з насаджень при помірному та високому рівні забруднення: в середньому у 2,0; 8,2 та 1,9; 5,6 разів відповідно (табл. 6.2). А у *P. pungens* ці показники були вищими у 1,8; 3,6 та 2,5; 6,1 разів (рис. 6.4). Чим нижча лабораторна схожість насіння, тим слабшою є їх життєздатність, воно легше піддається впливу несприятливих умов [43, 309]. У рослин *P. abies*, що зростають на контрольній ділянці 1, значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння були відповідно у 5,7 та 2,6 рази більшими, порівняно з *P. pungens*.

Відмінності показників схожості насіння, що виявляються між видами роду *Picea*, пов'язані з впливом локальних мікроумов, які склались на досліджуваних ділянках. Так, у найпівденнішому серед обстежених Металургійному районі на ділянці 3 із незначним рівнем забруднення енергія проростання та лабораторна схожість насіння у *P. abies* були на 33,7% та 32,1% нижчими від контролю, а у *P. pungens* були нижчими на 38,9% та 50,5% відповідно.

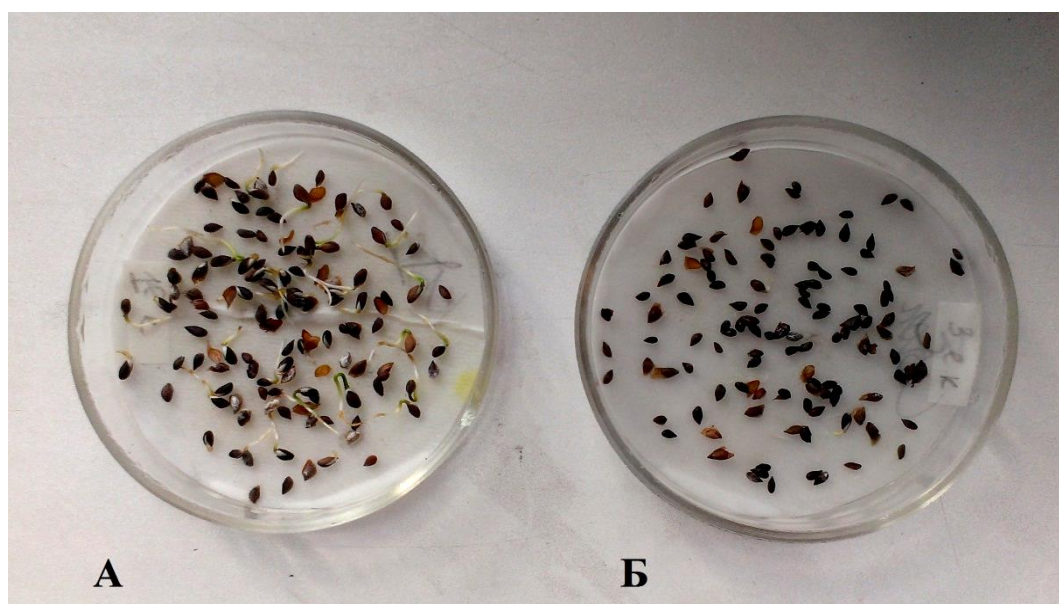
Таблиця 6.2

Посівні якості насіння рослин *Picea abies* та *Picea pungens*
з насаджень на моніторингових ділянках

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***



I.



II.

Рис. 6.4. Пророщування насіння *Picea abies* (I) та *Picea pungens* (II) з насаджень: А – ботанічного саду та Б – біля металургійного підприємства

На ділянці 6 з помірним рівнем забруднення у тому ж районі енергія проростання та лабораторна схожість насіння у *P. abies* були меншими в середньому на 18,0% та 23,2% порівняно з іншими насадженнями, що зростали в умовах помірного забруднення (ділянка 4, 5), але в районах, розташованих північніше. А у *P. pungens* були нижчими на 9,3% та 29,0% відповідно. За високого рівня промислових викидів у *P. abies* на ділянці 8

дані показники були на 68,4% та 64,8% меншими порівняно з деревами на ділянці 7. А у *P. pungens* на 46,2% та 58,3% відповідно. Помітно, що схожість насіння ялин знижується з півночі на південь.

Достовірно відмінними є і розміри проростків за різних урботехногенних умов. Показники довжини проростка були більшими у *P. abies* з контрольного насадження, ніж у рослин, що зростають в умовах помірного та високого рівнів забруднення, в середньому на 20,9% та 28,9%, а у *P. pungens* відповідно за такими параметрами на 29,7%; 57,6%. Таким чином, в насіння *P. abies* та *P. pungens* з ділянок із незначним рівнем забруднення спостерігається більш ранній розвиток проростків, які швидше виходять із латентного стану і переходять до стадії розвитку сім'ядолі, ніж у насінин рослин, що зростають при помірному та високому рівнях навантаження.

6.3. Вирощування саджанців з насіння місцевої репродукції

Насіння з високою лабораторною схожістю не завжди дає дружні повноцінні сходи в ґрунтових умовах. Ґрунтова схожість залежить від агротехнічних і екологічних факторів, а також від пошкодження насіння та проростків шкідниками й хворобами [309]. Оптимальною є вологість ґрунту 70% повної вологоємності на глибині загортання насіння. Тому на сухих і розпушених ґрунтах схожість насіння підвищується після коткування, яке сприяє надходженню вологи до висіяного насіння [244].

В ході наших досліджень відмічено, що зі зменшенням лабораторної схожості насіння послідовно знижується ґрунтова схожість. Зазвичай умови відкритого ґрунту для розвитку насіння менш сприятливі, ніж лабораторні – через щільну структуру ґрунту та його недостатню вологість. Так в умовах відкритого ґрунту енергія проростання насіння у *P. abies* та *P. pungens* на всіх ділянках при різному рівні забруднення знижується у 1,1–2,0 разів порівняно з лабораторною схожістю. Найнижчою є ґрунтова схожість у *P. abies* та *P. pungens* на ділянках з надмірним рівнем промислових викидів, що в

середньому у 6,7 та 7,4 разів менше порівняно з рослинами контролю (рис. 6.5). У рослин обох видів, що зростали в умовах помірного рівня забруднення, цей показник був нижчим майже у 3 рази відповідно.

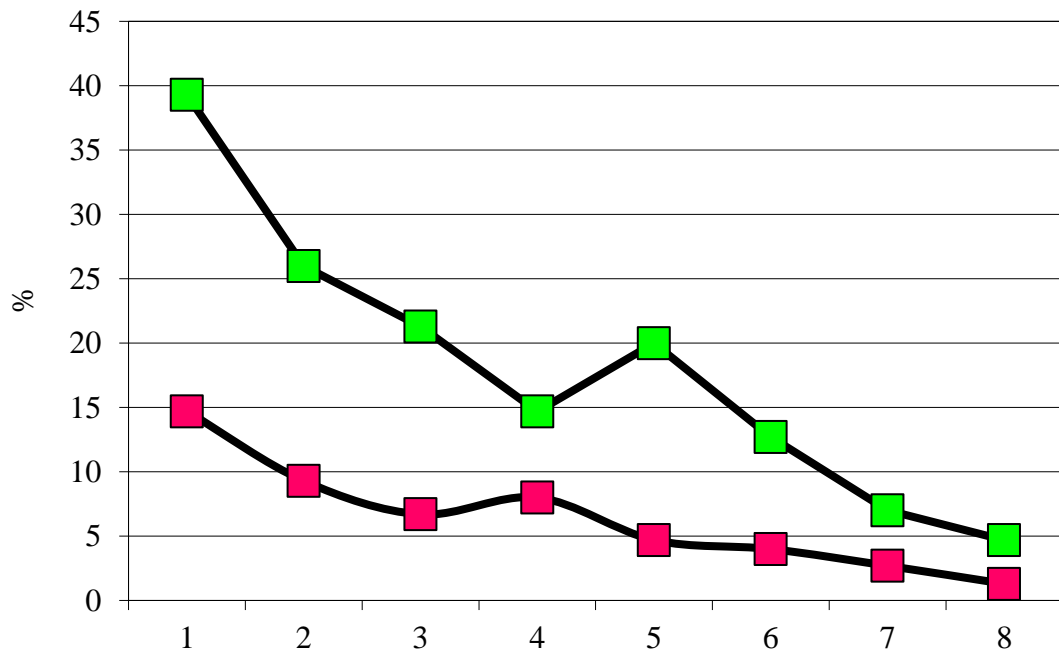


Рис.6.5. Ґрунтова схожість насіння рослин *Picea abies* – ■ та *Picea pungens* – ■ з різних типів насадження

Назви моніторингових ділянок (1–8) наведені в примітці до рис. 6.1.

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 *Picea abies* були вищими втричі, ніж у *P. pungens*. Помітно, що показники низької ґрунтової схожості насіння обумовлені не тільки різними еколого-біологічними особливостями видів, а й залежать від впливу техногенних факторів.

У ході наших досліджень встановлено, що в обох видів рослин, які підпадали під прямий вплив викидів промислових підприємств, схожість насіння в умовах відкритого ґрунту наближається до нуля.

Таким чином, техногенне забруднення та викиди автотранспорту помітно впливають на репродуктивну сферу *P. abies* та *P. pungens*, що

виявляється, в більшості випадків, у достовірній відмінності показників їх розвитку на початкових стадіях онтогенезу за різних рівнів забруднення.

Висновки по розділу:

1. З'ясовано, що середня врожайність шишок *Picea abies* та *P. pungens* складає 2,1–4,4 та 1,2–3,4 бали відповідно. Загалом, спостерігається регулярне формування у жіночих шишок повних насінин, що свідчить про високий адаптаційний потенціал обох видів. Проте, надмірна дія аерополітантів та несприятливий кліматичний режим призводить до зменшення фактичної насінневої продуктивності у *P. abies* та *P. pungens* у 4,9 та 8,7 разів менше від потенційної продуктивності насіння.

2. Встановлено, що показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння у *P. abies*, що зростають за умов високого рівня промислових викидів в середньому нижчі у 8,2 та 5,6 разів порівняно з рослинами контролю. А у *P. pungens* ці показники, відповідно, менші у 3,6 та 6,1 разів. Подібні значення відмічаються і у рослин, що зростають при помірному рівні забруднення.

3. Відмічено, що в умовах відкритого ґрунту схожість насіння у *P. abies* та *P. pungens* при надмірному рівні промислових викидів гірша у 6,7 та 7,4 разів порівняно з насадженнями контролю. Отже, зі зменшенням техногенного навантаження збільшується частка проростків насіння, що мають сім'ядолі на момент визначення схожості, що свідчить про їх більш ранній розвиток.

4. Виявлено, що показники жіночої генеративної сфери у виду *P. abies* менш чутливі до впливу урботехногенних умов, ніж у *P. pungens*, що підтверджують вищі показники коефіцієнта продуктивності, а також краща схожість та енергія проростання насіння.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

РОЗДІЛ 7

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИДІВ РОДУ *PICEA* НА УРБОТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЯХ

7.1. Декоративні властивості видів роду *Picea* та особливості використання цих видів у зеленому будівництві промислових міст степової зони

Збагачення видового різноманіття культивованої дендрофлори в озелененні промислових міст степової зони в першу чергу має за мету підвищення комфортності та якості проживання людей в урботехногенних умовах та урізноманітнення функціональних можливостей насаджень [36, 72]. На особливу увагу заслуговують екземпляри з високим декоративним ефектом, який вони зберігають протягом року [16]. До таких рослин належать представники роду *Picea* A. Dietr., які при цьому виявляють фітонцидну активність і екологічну пластичність.

Рід *Picea* охоплює багато видів дерев, які є цінним матеріалом для зеленого будівництва, деякі з них уже давно культивують в Європі та Північній Америці. Такі види як *P. abies* та *P. pungens* мають декоративну цінність завдяки особливостям хвої, яка є дуже різноманітною за розмірами та забарвленням; щільності крони, а також відрізняються різноманітністю видів культиварів. Завдяки стійкості до несприятливих умов промислових міст ялина є практично незамінною для використання в озелененні.

На сьогодні в Україні види роду *Picea* широко розповсюджені у різних типах посадок. Значний асортимент хвойних урізноманітнює паркові насадження. Перспективними при оформленні квітників у партерах, альпінаріїв, композицій із гарноквітучими листяними кущами чи іншими видами хвойних є морфологічні форми ялини колючої з голубою хвоєю [16, 40, 58]. Так, культивари виду *P. pungens* – 'Glauca' найчастіше використовують у зеленому будівництві практично по всій території нашої країни [16, 105]. Їх можна зустріти в насадженнях біля адміністративних

будинків, шкіл, у парках та скверах, а також у рядових посадках вздовж доріг, та біля великих промислових підприємств, як найбільш стійкі до міських умов [39]. Зважаючи на значний вміст фітонцидів, які сприяють очищенню повітря від патогенних мікроорганізмів, доцільним є застосування цієї форми в озелененні дитячих садків, лікарень, санаторіїв тощо.

В результаті опрацювання літературних відомостей [15, 16, 105] та узагальнень власних спостережень ми отримуємо можливість інтегрально оцінити декоративні властивості видів роду *Picea* (архітектоніку крони, забарвлення хвої, розмір шишок, структуру та колір кори) при використанні їх в озелененні за різних рівнів забруднення міських територій. Ці ознаки відіграють важливу роль під час створення насаджень та допомагають правильно проектувати складні за формою рослинні композиції з цілорічним декоративним ефектом (табл. 7.1).

Розмір та форма крони є однією з найважливіших характеристик хвойних порід, що враховуються при створенні ландшафтних композицій. Для вічнозелених деревних порід характерна стабільна, щільна, пірамідальна крона, яка не зазнає істотних сезонних змін, властивих листопадним видам. Важливим показником при оцінці форми крони є ступінь її симетричності з рівномірно розподіленими гілками по всій висоті та рівень охоєння. Високою декоративністю відрізняються культивари, для яких характерна геометрично правильна форма – колоновидна, конічна або куляста, які найчастіше виступають в якості акцентів в групах, а також незамінні для рядових посадок і солітерних насаджень. Менш привабливі рослини з прорідженою і неоднорідною кроною. Рівень охоєння також впливає на сприйняття однорідності рослини і може у різних культиварів значно відрізнятися. Бал декоративності архітектоніки крони рослин збільшувався в міру наближення насаджень до парків та дендрарію ботанічного саду. За цією ознакою *P. abies* та *P. pungens* у різних типах посадки оцінено у середньому у 4,1 та 4,6 балів відповідно. В умовах надмірної дії

аерополютантів рослини з деформованою кроною та менш охвоєнні, особливо насадження *P. abies*, отримують значно менший бал (табл. 7.1).

При оцінці вічнозелених рослин естетично важливим є забарвлення хвої упродовж року. Найвищим балом характеризується хвоя з яскраво вираженим забарвленням – блакитним, сизим і золотистим. Влітку, внаслідок посушливих умов, спостерігається втрата тургору хвої *P. abies* та *P. pungens*, а також збільшення товщини пилового шару на шпильках у насадженнях, що зростають біля джерел забруднення, тому загальна декоративність рослин погіршується. Однак у інші пори року та на відносно чистих територіях здорова хвоя має особливо привабливий вигляд. Загалом, середній показник декоративності хвої *P. abies* та *P. pungens* за різних умов зростання становив 3,5 та 4,5 бали відповідно.

При оцінці декоративності шишок слід відмітити, що *P. abies* мають великі (8–15 мм), інтенсивно забарвлені і розміщені хаотично мегастробіли, які чітко вирізняються на тлі крони. Деяко менші розміри шишок (4–10 мм) у *P. pungens*, які помітні на фоні крони, але розміщені інколи скупчено на її верхівці, інколи – взагалі відсутні. Наявність на рослині дрібних, але при цьому вельми численних шишок викликає враження порушення структури крони, що призводить до погіршення декоративності насаджень. У міру дозрівання шишки змінюють колір від зеленого до коричнево-бурого. Показник декоративності шишок *P. abies* та *P. pungens* в середньому складає 4,1 та 3,8 бали відповідно. Найбільше скупчення мегастробілів спостерігалось у насадженнях, що зазнавали аеротехногенного впливу, особливо у *P. pungens*.

Привабливості ялинам надає волокниста структура кори із світло-коричневим забарвленням. Показник декоративності кори у дерев обох видів варіює в межах 2,8–4,6 балів. Помітне зниження декоративності за цією ознакою було у рослин, що підпадають під потужний вплив викидів промислових підприємств, оскільки кора набуває темного кольору та зазвичай пошкоджена шкідниками.

Таблиця 7.1

Середній показник загальної декоративності досліджуваних видів роду *Picea* в різних типах насаджень

Рівень забруднення	Моніторингові ділянки	Декоративні властивості				
		Архітектоніка крони	Забарвлення хвої	Розмір шишок	Структура та колір кори	Загальна декоративність
<i>Picea abies</i>						
Незначний	1	5,0	4,9	4,8	4,6	4,8
	2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,7
	3	4,8	4,6	4,7	4,3	4,6
Помірний	4	4,6	3,1	4,0	3,6	3,8
	5	3,7	2,9	3,8	3,4	3,4
	6	2,6	2,3	2,8	2,6	2,6
Високий	7	2,4	2,2	2,6	2,5	2,4
	8	2,4	2,2	2,2	2,5	2,3
<i>Picea pungens</i>						
Незначний	1	5,0	5,0	4,7	4,7	4,9
	2	5,0	4,9	4,5	4,4	4,7
	3	4,9	4,8	4,5	4,5	4,7
Помірний	4	4,7	4,6	4,0	3,8	4,3
	5	4,5	4,4	3,3	3,6	3,9
	6	3,5	3,9	2,4	2,5	3,0
Високий	7	3,2	4,0	2,3	2,6	3,0
	8	2,9	3,9	2,3	2,5	2,9

Під час створення композицій, рядових або масивних посадок слід брати до уваги, що дерева *P. abies* та *P. pungens* в багаточисельних (10–46 особин) щільних групах створюють умови, які сприяють активному росту і розвитку дерев з 15 до 35 років. Підвищена густота дерев, особливо у куртинному типі посадки призводить до їх пригнічення у 30–40-річному віці.

Спостерігається зменшення росту дерев, деформована крона та відмирання гілок, зниження рівня охвоєності та послаблення інтенсивності кольору хвої. Тому, висаджуючи ялини, необхідно дотримуватись відстані між посадковим матеріалом 5–8 м, що виключає зімкнення крон.

Відмічено, що найкращою декоративністю характеризується вид *P. pungens*, якому властива розвинена архітектоніка, компактна пірамідальна крона з дугоподібними гілками, сизо-блакитні молоді пагони та є більш стійким до аеротехногенного забруднення. Показник комплексної декоративності у *P. pungens* коливався в межах 3,7–4,9 бали, досягаючи максимуму на ділянках із незначним рівнем забруднення. Даний вид ялини рекомендується для широкого застосування під час створення групових, алеїних, пришляхових насаджень, при озелененні адміністративних будівель.

Деякі менші показники декоративності спостерігаються у *P. abies* (2,6–4,9 бали), особливо протягом літа в умовах забруднення. Проте за рахунок невеликих молодих пагонів, спрямованих косо вгору і покритих густою зеленою хвоєю крона виглядає щільною та має привабливий зовнішній вигляд. Таким чином, *P. abies* може і в подальшому використовуватись в озелененні м. Кривого Рогу, як і в цілому у промислових містах степового Придніпров'я. Однак, висаджувати цей вид недоцільно в зонах дії викидів великих промислових підприємств. *P. abies* можна включати поодинокі або невеликими групами до насаджень парків, скверів, прибудинкових територій житлових районів міст, а куртини розміщувати на відстані більше 10 м від проїзної частини дороги.

7.2. Фітоіндикація аеротехногенних впливів за характеристиками хвойних рослин

Фітоіндикація останнім часом стає все більш актуальною. Рослини, особливо деревні, які відчувають антропогенний пресинг протягом багатьох років, реагують на всю сукупність компонентів аеротехногенного

середовища [16]. В якості біоіндикаторів вибирають рослини, які мають швидку реакцію на забруднюючі речовини в повітрі. В нашому випадку це види *P. abies* та *P. pungens*, які зростають в урботехногенних екотопах м. Кривий Ріг.

Проведені впродовж декількох років спостереження та дослідження насаджень *P. abies* та *P. pungens* підтвердили придатність їх до використання в якості індикаторів стану атмосферного повітря, а також дозволяють виділити найбільш чутливі показники до дії аерополутантів. Особливо, для ранніх проявів стресового стану рослин під дією забруднення на фізіолого-біохімічному рівні рекомендуємо використовувати співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів, процеси накопичення яких швидко реагують на дію викидів токсичних речовин [214].

В подальшому вплив промислових підприємств та викидів автотранспорту можна спрогнозувати за ступенем розвитку хвої, станом її анатомо-морфометричних характеристик. Слід відмітити, що в умовах урбосередовища дуже помітні візуальні прояви пошкодження такі: хлороз, некроз. В ході лабораторних досліджень доцільно вивчати кількість смоляних ходів у хвої *P. abies* та *P. pungens*, які при наближенні насаджень до гірничо-збагачувального та металургійного комбінатів зменшуються. Як цілорічні інформативні біоіндикатори атмосферного забруднення ефективно використовувати хвойні дерева *P. abies* та *P. pungens*, особливо їх асиміляційні органи, які дуже швидко реагують на зміни урботехногенних умов зростання [214].

Одним із найбільш перспективних та доступних напрямків біомоніторингу є вивчення дії полутантів на генеративну систему рослин, що визначає успішність їх репродуктивної діяльності. У ході наших досліджень простежується загальна закономірність: зменшення якості та збільшення кількості аномального пилку у рослин *P. abies* та *P. pungens*, що зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та викидів промислових підприємств м. Кривого Рогу [44, 73]. Пропонується використовувати

частоту аномалій пилку дерев обох видів для індикації аеротехногенного забруднення в промислових містах України.

Фактично техногенний вплив проявляється і на посівних якостях насіння, які відображають особливості насінневого відновлення і є важливими при вивченні еколого-біологічних особливостей рослин. Так, нами відмічено у *P. abies* та *P. pungens* зниження показників енергії проростання та схожості насіння при високому та помірному рівні забруднення, що можуть слугувати інформативними показниками негативної дії аерополітантів на насінневу продуктивність ялин [38].

Проведене комплексне дослідження видів і форм ялин, поширених у насадженнях великого промислового міста, дозволяє рекомендувати їх як цілорічно доступні біоіндикатори.

Висновки по розділу:

1. Показник комплексної декоративності за різних умов зростання у *P. abies* та *P. pungens* в середньому складав 3,8 та 4,3 бали відповідно, це свідчить про те, що декоративні властивості їх достатньо виразні, рослини добре виділяються на загальному фоні насаджень, особливо дерева з блакитним кольором хвої. Рослини *P. pungens* виявляли кращу адаптаційну здатність за ступенем декоративності до впливу аерополітантів на відміну від *P. abies*.

2. Визначено, що серед комплексу показників які були досліджені у обох видів ялин найчутливішими показниками щодо дії аерополітантів 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.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Гусейнова (Федорчак) Е.Р., Коршиков І.І. Характеристика пилюк *Picea abies* в насадженнях Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2017. № 4 (76). С. 56–62.
5. Коршиков І.І., Гусейнова (Федорчак) Е.Р. Особливості пилюк 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.
6. 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.

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 індустріального 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 суховершинність). 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александрова М.С., Александров П.В. Хвойные растения в вашем саду. Ростов-на-Дону: Изд-во "Феникс", 2005. 160 с.
2. Алексеев А.С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении. *Лесоведение*. 1990. № 2. С. 82–86.
3. Алисов Б.П. Климат СССР. Москва: МГУ, 1956. 230 с.
4. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб., 2002. 240 с.
5. Аникеев Д.Р., Бабушкина Л.Г., Зуева Г.В. Состояние репродуктивной системы сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении. Екатеринбург: УГЛА, 2000. 81 с.
6. Антипов В.Г. Декоративная дендрология. Москва: Дизайн ПРО, 2000. 280 с.
7. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. Москва: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
8. Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. Москва: «Наука», 1986. 171 с.
9. Багрій І.Д., Блінов П.В., Белокопитова Н.А., Вілкул Ю.Г., Власенко Ю.Я. Геоекологічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі. Київ: Фенікс, 2002. 192 с.
10. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятов А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Основы микротехнических исследований в ботанике. Справочное рук-во. Москва: Изд. каф. высш. растений биол. ф-та Моск. гос. ун-та, 2000. 127 с.
11. Бессонова В.П., Капелюш Н.В., Овчаренко С.В., Письменчук В.Д. Влияние многокомпонентных выбросов автомобильного транспорта на содержание хлорофилла в листьях древесных растений. *Бюллетень Никитского Ботанического Сада*. 2004. 89. С. 73–75.

12. Бессонова В.П., Приймак О.П. Вплив викидів автотранспорту на вуглеводний обмін у листках декоративних квітникових рослин. *Вісник Дніпропетровського університету*. 2006. № 3/1. С. 12–21.
13. Бессонова В.П., Пономарьова О.А. Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* Engelm. залежно від відстані до автошляху. *Biosystems Diversity*. 2017. 25 (2). С. 96–101. Doi: 10.15421/01171.
14. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: Пер. с нем./ Под ред. Р. Шуберта. Москва: Мир, 1988. 350 с.
15. Бирючев Ф.М. Особенности использования *Picea pungens* Engelm. и *Picea excelsa* (Lam.) Link в зелёном строительстве г. Евпатория. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2012. Вып. 105. С. 28–32.
16. Білик О.В., Грабовий В.М. Ялина колюча у насадженнях національного дендропарку «Софіївка» НАН України (інтродукція, розмноження, культивування). *Науковий вісник національного лісотехнічного університету*. 2006. Вип. 16.1. С. 44–49.
17. Бойко Т.О., Омелянова В.Ю., Дворна А.В. Еколого-біологічна характеристика деревних порід для створення рекреаційної зони в смт Каланчак (Херсонська область). *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 112. С. 256–261. Doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.36.
18. Бойченко С.Г. Реакція кліматичних умов України та повторюваності природних катастрофічних явищ на глобальне потепління: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.09. Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2001. 20 с.
19. Бондаренко-Борисова И.В. Болезни хвойных растений в декоративных насаждениях юго-востока Украины. *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 313–402.

20. Булава Л.Н. Физико-географический очерк территории Криворожского горнопромышленного региона. Деп. в УкрНИИНТИ 2.11.90., № 1808-УК 90. КГПИ, 1990. 125 с.
21. Великоридько Т.И., Калафат Л.А. Динамика охвоенности побегов *Pinus sylvestris* L. под влиянием выбросов предприятий химической промышленности в Донбассе. *Промышленная ботаника*. 2008. Вып. 8. С. 46–51.
22. Верас С.Н. Оценка состояния, роста и продуктивности 44-летних климатипов ели европейской в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов. *Лесное хозяйство*. 2014. № 1. С. 124–126.
23. Висоцька Н.Ю. Комплексна оцінка успішності інтродукції видів роду *Picea* Dietr. в умовах Сходу України. автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук. 06.03.01 – лісові культури та фітомеліорація. Харків, 2010. С. 23.
24. Вишнякова С.В., Аткина Л.И. Влияние выбросов автотранспорта на анатомические параметры хвои ели колючей в условиях г. Екатеринбурга. *Хвойные бореальной зоны*. 2011. 28 (1–2). С. 134–136.
25. Вишнякова С.В., Аткина Л.И. Влияние условий загрязнения на улицах Екатеринбурга на состояние ели обыкновенной. *Леса Урала и хозяйство в них: сборник научных трудов*. Федеральное агентство по образованию, Уральский государ. лесотехнический университет. 2006. 28. С. 262–266.
26. Власюк В.Н. Фитонцидные и ионизационные свойства основных древесных пород зеленой зоны г. Москвы: автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. с.-х. наук. Москва, 1970. 21 с.
27. Волошин Д.В. Економіко-екологічні аспекти запобігання небезпечним змінам клімату (методологія, завдання, механізми). ІПРЕЕД НАНУ. Київ: Наук. думка, 2005. 278 с.
28. Глухов А.З., Поляков А.К., Приходько С.А., Сулова Е.П. Дендрарий Донецкого ботанического сада НАН Украины, его научная,

- эстетическая, рекреационная ценность. *Запорожский медицинский журнал*. 2008. Вып 2 (2). С. 128–130.
29. Голубец М.А. Ель в культурах равнинной части западных областей УССР: автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. с.-х. наук. Харьков, 1959. 16 с.
30. Голубець М.А. Ельники Украинских Карпат. Киев: Наукова думка, 1978. 264 с.
31. Горячкина О.В., Седаева М.И. Морфология и качество пыльцы у видов рода *Picea* (*Pinaceae*) из коллекции дендрария В.Н. Сукачева СО РАН. *Растительный мир Азиатской России*. 2012. 2 (10). С. 27–32.
32. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. 31 с.
33. Грабовий В.М. Причини всихання насаджень *Picea abies* L. у Національному дендрологічному парку «Софіївка» в 2004–2008 роках. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вып. 19 (12). С. 12–20.
34. Грицай З.В., Денисенко О.Г. Насіннева продуктивність деревних рослин в умовах забруднення довкілля викидами металургійного підприємства. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2011. Вып. 19, Т. 2. С. 40–44.
35. Губіна В.Г., Горлицький Б.О. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України – системний підхід. *Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища*. 2009. Вып. 17 С. 79–92.
36. Гусейнова 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.*
37. Гусейнова 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. 43–46.*

38. Гусейнова 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.
39. Гусейнова Е.Р. Перспективи дослідження родового комплексу *Picea* Dietr., у зелених насадженнях м. Кривого Рогу. *Сучасні тенденції збереження, відновлення та збагачення фіторізноманіття ботанічних садів 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.
40. Гусейнова 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.
41. Гусейнова Е.Р. Репродуктивна сфера *Picea abies* та *P. pungens* 'Glausa' в насадженнях м. Кривий Ріг. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: матеріали міжнародної конференції молодих учених, 2–5 вересня 2018 р. Кирилівка, 2018. 100 с.
42. Гусейнова Е.Р. Якість пилку *Picea abies* (L.) Karst. в насадженнях Криворіжжя. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: атеріали Міжнародної конференції молодих вчених, 5–10 вересня 2017 р. Луцьк, 2017. 98 с.
43. Гусейнова Е.Р., Коршиков І.І. Біоекологічні особливості *Picea abies* та *P. pungens* 'Glausa' 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.
44. Гусейнова Е.Р., Коршиков І.І. Характеристика пилку *Picea abies* в насадженнях Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. 2017. 4 (76). С. 56–62.

45. Гусейнова Э.Р., Петрушкевич Ю.М., Коршиков И.И. Особенности патологий пыльцы у хвойных и лиственных видов растений в условиях Кривбасса. *«Наука и Мир»*. 2018. 2 (54). С. 8–10.
46. Дебринюк Ю.М. Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21 (16). С. 32–38.
47. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботаничне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.
48. Добровольский И.А. Озеленение Криворожского железорудного бассейна. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1967. № 6. С. 42–46.
49. Добровольский И.А. Эколого-биологические основы оптимизации техногенных ландшафтов степной зоны Украины путем озеленения и облесения: Автореф. дис... д-ра. биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск, 1979. 36 с.
50. Долина О.О., Сметана О.М. Територіальна структура та класифікація ґрунтів Криворізького залізорудного басейну. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2014. Вип. 22 (2). С. 161–168.
51. Дослідження запиленості повітря робочої зони. Методичні вказівки до практичних та лабораторних занять для студентів / Упор. І.В. Панасюк, В.О.Мусієнко, Ю.В.Клапцов, Л.І.Микитенко. Київ: КНУТД, 2009. 29 с.
52. Дубова О.В., Фендюк Л.М. Стан деревної рослинності міста Запоріжжя. *Вісник ЗНУ: біологічні науки*. 2009. С. 28–32.
53. Екологічний паспорт міста Кривого Рогу. Кривий Ріг, 2017. 6 с.
54. Жарінов В.І., Довгань С.В. Агроекологія: термінологічний та довідниковий матеріал: Навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2009. 328 с.
55. Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России. *Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы:*

- материалы научной конференции, посвященной 50-летию Ин-та леса Карельского научного центра РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42–52.
56. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука, 1984. 424 с.
57. Зайцева І.О., Ловинська В.М., Ситник С.А. Аналіз стану деревних рослин придорожньої лісосмуги між селищами Дослідне і Новоалександрівка (Запорізьке шосе м. Дніпропетровськ). *Питання біоіндикації та екології*. 2014. Вип. 19, № 1. С. 78–93.
58. Зайцева І.О., Поворотня М.М. Особливості накопичення важких металів в едафотобах урбофітоценозів за дії викидів теплових електростанцій. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. № 2. С. 25–32.
59. Злобин Ю.А. Популяционная экология растений; современное состояние, точки роста: монография. Сумы: Университетская книга, 2009. 263 с.
60. Зотикова А.П., Бендер О.Г., Собчак Р.О., Астафурова Т.П. Сравнительная оценка структурно-функциональной организации листового аппарата хвойных растений на территории г. Горно-Алтайска. *Вестник Томского гос. ун-та*. 2007. № 299 (1). С. 197–200.
61. Казаков В.Л., Таранько І.С., Сметана М.Г., Шипунова О.В., Коцюрба В.В., Калініченко О.О. Природнича географія Кривбасу. Кривий Ріг: КДПУ, 2005. 156 с.
62. Калашник Н.А. Аномалии пыльцы у сосны обыкновенной в различных экологических условиях. *Бюл. бот. сада Саратовского гос. ун-та*. 2012. 10. С. 46–52.
63. Калашник Н.А., Ясовиева С.М., Преснухна Л.П. Аномалии пыльцы хвойных видов деревьев при промышленном загрязнении на Южном Урале. *Лесоведение*. 2008. № 2. С. 33–40.
64. Капелюш Н.В. Влияние аэрогенного загрязнения на показатели ассимиляционного аппарата древесных растений города Запорожье.

- Вісник Запорізького національного університету*. 2012. № 3. С. 111–115.
65. Каппер В.Г. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород. *Труды по лесному опытному делу*. 1930. Вып. 7. С. 103–139.
66. Кищенко И.Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в условиях Карелии. Петрозаводск: Издательство Петрозаводского гос. ун-та, 2000. 211 с.
67. Клімат України / В.А. Дячук, В.М. Бабіченко, З.С. Бондаренко, С.Ф. Рудішина; під. ред. В.М. Ліпінського. К.: Вид. Раєвського, 2003. 342 с.
68. Комарова І.О. Еколого-біологічні особливості *Taraxacum officinale* Wigg за дії забруднення важкими металами в умовах промислового Криворіжжя: дис. на здобуття наук. ступеня канд. біолог. наук: спец. 03.00.16 – екологія. Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара МОН України, Дніпро, 2019. 194 с.
69. Корольова О.В., Стародубець О.С. Екологічні особливості дендрофлори відділу Pinophyta Миколаївської області. *Науковий вісник Миколаївського державного університету імені В.О. Сухомлинського. Серія: Біологічні науки*. 2014. Вып. 6.2. С. 36–39.
70. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. Киев: Наук. думка, 1996. 238 с.
71. Коршиков И.И., Лаптева Е.В., Лисничук А.Н., Литвиненко Ю.С. Качество пыльцы сосны крымской и с. обыкновенной из насаждений техногенно загрязненных территорий Криворожья. *Интродукция растений*. 2014. № 3. С. 38–45.
72. Коршиков І.І., Гусейнова Е.Р. Життєздатність *Picea abies* у м. Кривий Ріг Степової зони України. *Интродукция растений*. 2016. № 2 (74). С. 60–67.
73. Коршиков І.І., Гусейнова 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
74. Коршиков І.І., Лаптева О.В. Якість пилку *Pinus pallasiana* (Pinaceae) з насаджень екологічно безпечних і техногенно забруднених територій степової зони України. *Український ботанічний журнал*. 2014. 71 (5). С. 590–598.
75. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., Гусейнова 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.
76. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., Гусейнова Е.Р., Красноштан О.В., Артюшенко О.М. Стан хвойних в насадженнях м. Кривий Ріг. Генофонд колекцій бот 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.
77. Котелова Н.В., Виноградова О.Н. Оценка декоративности деревьев и кустарников по сезонам года. *Физиология и селекция растений и озеленение городов*. 1974. Вып. 51. С. 32–44.
78. Кочергина М.В., Дарковская А.С. Фитонцидные свойства хвойных интродуцентов особо охраняемых природных территорий г. Воронежа. *Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета*. 2010. Вып. 9. № 1. С. 84–88.
79. Крамарець В.О., Мацях І.П. Роль біотичних чинників у всиханні ялинників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. Вип. 17. С. 121–132. Doi: 10.15421/411827.
80. Криворучкіна О.В. *Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали виїзного засідання комітету з питань екологічної політики та природокористування, 24–25 жовтня 2019 р. Кривий Ріг, 2019. С. 3–69.

81. Кузнецов С.И., Маринич И.С., Похильченко О.П., Слюсар С.І. Хвойные в коллекционных насаждениях Полесья и лесостепи Украины и перспективы их использования. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Серія "Лісівництво та декоративне садівництво"*. 2010. Вип. 152. С. 98–104.
82. Кузнецова М.С., Демченко О.О. Досвід використання представників роду ялина на території Київського територіального центру НУБіП України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Серія "Лісівництво та декоративне садівництво"*. 2010. Вип. 147. С. 28–34.
83. Кузнецова В.Г. Семеношение и качество семян клонов кедра сибирского разного происхождения на плантации в Красноярской лесостепи. *Лесоведение*. 2003. № 6. С. 42–48.
84. Кулагин Ю.З. О газоустойчивости древесных растений и биологической очистке атмосферного воздуха в лесостепном Предуралье. Киев, 1968. С. 38–42.
85. Кучеревський В.В. Конспект флори Правобережного степового Придніпров'я. Дніпропетровськ: Проспект, 2004. 292 с.
86. Ладанова Н.В., Плюснина С.Н. Анатомо-морфологические изменения разновозрастной хвои сосны обыкновенной в зоне действия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса. *Лесной журнал*. 1998. № 1. С. 7–11.
87. Леонтьев С.Ю. Факторы, приводящие к ослаблению и усыханию хвойных насаждений европейской части России, и рекомендации по повышению устойчивости древостоев. Сборник научных трудов. Москва: Изд-во МГУП, 2004. С. 54–60.
88. Лысый А.Е., Рыженко С.А., Козярин И.П. Экологические и социально-гигиенические проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона. Кривой Рог, 2007. 428 с.

89. Мазур А.Ю., Коршиков І.І., Бойко Л.І. та ін. Інтродукційний потенціал хвойних в мікроландшафтних дендрокомпозиціях Криворізького ботанічного саду НАН України. *ScienceRise. Biological science*. 2018. № 1. С. 20–25.
90. Макогон І.В., Коршиков І.І. Качество пыльцы ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) и ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях интродукции на юго-востоке Украины. *Інтродукція рослин*. 2010. Вип. 4. С. 9–13.
91. Макогон І.В., Привалихин С.Н. Сравнительный анализ семенной продуктивности *Picea abies* (L.) Karst. в естественном и искусственном древостоях. *Промышленная ботаника*. 2010. Вып. 10. С. 106–109.
92. Макогон І.В., Привалихин С.Н. Семенная продуктивность *Picea abies* (L.) Karst. в условиях интродукции в степной зоне Украины. *Промышленная ботаника*. 2013. Вип. 13. С. 228–134.
93. Макогон І.В., Коршиков І.І. Якість пилку та насіннева продуктивність *Picea pungens* Engelm. у зоні викидів металургійних підприємств Донбасу. *Український ботанічний журнал*. 2010. 67 (5). С. 736–745.
94. Малахов Г.М., Шостак А.Г., Стариков Н.И. История горного дела в Криворожском бассейне. Киев, 1956. 342 с.
95. Малахов І.М. Техногенез у геологічному середовищі. Кривий Ріг: Окта-Принт, 2003. 252 с.
96. Мамаев С.А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 110 с.
97. Маргус М.М., Имелик О.И., Сарв И.Ф., Янес Х.Я. Лес и здоровье человека. Москва: «Лесная промышленность», 1979. 240 с.
98. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: підр. – [3-тє вид., стер.]. Київ: Т-во «Знання», КОО, 2006. 511 с.
99. Маурер В.М., Шевчук В.В. Перспектива та особливості використання різних культиварів роду *Picea* A. Dietr в озелененні. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування*

- України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198 (2). С. 262–267.
100. Машинский О.Л. Город и природа. Москва: Изд. "Стройиздат", 1973. 225 с.
 101. Медведєв В.А., Ільєнко О.О. Порівняльна оцінка біологічної стійкості внутрішньовидових морфологічних форм *Picea abies* (L.) Karst. у насадженнях Тростянецького парку. *Інтродукція рослин*. 2014. № 2. С. 77–82.
 102. Мельник О.О., Балабанов С.В. Історична енциклопедія Криворіжжя. Кривий Ріг, 2007. 540 с.
 103. Метеорологічні дані авіаметеорологічної станції Лозоватка м. Кривий Ріг за 2003, 2004 та 2005 рр.
 104. Михайленко І.Л., Сметана О.М. Умови існування ялини звичайної, сосни кримської, сосни звичайної та ялівцю козачого в складі зелених насаджень м. Кривий Ріг. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 2. С. 170–178.
 105. Москалик Г.Г., Костишин С.С. Морфофізіологічні особливості *Picea pungens* «Глауса» в умовах урбоекосистеми (на прикладі м. Чернівці). *Український ботанічний журнал*. 2008. № 3. С. 437–444.
 106. Мочалов С.А. Глобальное изменение климата и проблемы лесной экологии. *Известия Уральского государственного университета*. 2002. № 23. С. 48–53.
 107. Муратова Е.Н., Шиятов С.Г., Залесов С.В., Мочалов С.А. Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса. *Лесоведение*. 2007. № 1. С. 74–76.
 108. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
 109. Некрасов В.И. Актуальные вопросы семеноведения интродуцентов. *Бюл. гл. ботан. сада*. 1978. Вып. 110. С. 76–79.

110. Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной. *Хвойные бореальной зоны*. 2006. 23 (3). С. 54–63.
111. Орехова Т.П., Шихова Н.С. Оценка плодоношения и качества семян как один из критериев устойчивости деревянистых растений в урбоэкосистемах г. Владивостока. *Материалы XI съезда Русского ботанического общества*. Владивосток, 2005. С. 213–215.
112. Павличенко А.В., Лисицька С.М., Борисовська О.О., Деменко О.В. Транспортна екологія. Методично-інформаційні матеріали до самостійного вивчення дисципліни та виконання індивідуальних завдань для студентів напряму підготовки 6.070101 Транспортні технології (за видами транспорту). Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. 39 с.
113. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. Москва: Агропромиздат, 1988. 256 с.
114. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Под общ. ред. чл.-кор. НАН Украины А.З. Глухова. Донецк: «Ноулидж», 2009. 268 с.
115. Поляков А.К., Сулова Е.П. Видовой состав древесных растений в дендропарке Маяцкого лесничества (Донецкая область). *Промышленная ботаника*. 2011. Вып. 11. С. 185–190.
116. Поляков А.К., Сулова Е.П. Состояние древесных растений в условиях техногенного воздействия и принципы формирования устойчивых насаждений. *Промышленная ботаника*. 2004. Вып. 4. С. 72–78.
117. Попов В.К. Берёзовые леса Центральной лесостепи России: монография. Воронеж: Изд.-тво ВГУ, 2003. 424 с.
118. Попов П.П. Изменчивость ели и ее лесоводственное значение. *Лесное хозяйство*. 2000. № 4. С. 29–31.

119. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. Москва: Наука, 1975. 176 с.
120. Приймак О.П. Вплив автотранспортних викидів на насінневу продуктивність декоративних квіткових рослин. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2009. Вип. 17, Т. 1. С. 183–192.
121. Разумова С.Т. Екологія рослин з основами ботаніки та фізіології: Конспект лекцій. Одеса: Вид-во ТЕС, 2013. 197 с.
122. Савосько В.М., Домшина К.М. Поширення хвойних в озелененні пришкільних ділянок Криворіжжя. «Сучасні тенденції збереження, відновлення та збагачення фіторізноманіття ботанічних садів і дендропарків»: матеріали Міжнародної наукової конференції, присвяченої 70-річчю дендрологічного парку «Олександрія», як наукової установи НАН України, 23–25 травня 2016 р. Біла Церква, 2016. С. 131–134.
123. Сарсекова Д.Н., Исмаилов В.Ю. Качество семян хвойных интродуцентов в условиях арборетума АО «Лесной питомник» Алматинской области. *GISAP: Biology, Veterinary Medicine and Agricultural Sciences*. 2015. № 6. С. 22–24. Doi: 10.18007/gisap:bvmas.v0i6.1016
124. Сергейчик С.А. Эколого-физиологический мониторинг устойчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в техногенной среде. *Биосфера*. 2015. Т. 7, № 4. С. 384–391.
125. Середюк А.А., Якобчук А.Н., Кривохатько Г.А. Перспективы использования хвойных древесных растений для зеленого строительства в условиях города Киева, на примере зеленых насаждений Национального университета биоресурсов и природопользования Г.А. Украины. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24 (4). С. 148–153.

126. Сіліч І.О. Вміст важких металів у рекреаційних та промислових зонах Криворіжжя. *Ґрунтознавство: науковий журнал*. 2013. – Вип. 14, № 3–4. С. 35–42.
127. Скоріненко Л.І. Декоративна дендрологія. Миколаїв: МНАУ, 2014. 27 с.
128. Слободян П.Я. Лісівничо-екологічні особливості формування осередків всихання *Picea abies* [L.] Karsten в Сколівських Бескидах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.с.-г. наук: спец. 06.03.03 – Лісознавство та лісівництво. Львів, 2003. 20 с.
129. Сметана О.М., Перерва В.В. Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2007. 247 с.
130. Сметана О. М., Савосько В.Н. Состав почвенного покрова и содержание гумуса в почвах территории Криворожского ботанического сада НАН Украины. *Промышленная ботаника*. 2004. Вип. 4. С. 228–236.
131. Соболева О.М., Кондратенко Е.П., Пинчук Л.Г. Комплексная оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в г. Новокузнецке. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2009. 7 (57). С. 33–36.
132. Собчак Р.О. Диагностика состояния видов хвойных в зонах техногенного загрязнения республики Алтай. *Вестник Томского университета*. 2009. 325. С. 185–190.
133. Совгіра С.В., Ревенко А.В. Оцінка фітотоксичності ґрунтів на території міста Кривий Ріг. *Природничі науки і освіта: зб. наук. праць прир.-геогр. фак-ту*. 2014. С. 108–109.
134. Соловьева О.С. Функциональные и физиологические особенности древесных растений в условиях городской среды (На примере г. Йошкар-Олы) Автореф. дис... кандидата сел-х наук: 03.00.16. Йошкар-Ола, 2003. 174 с.

135. Сродных Т.Б. Анатомо-морфологическая структура хвои ели в зоне промышленных выбросов. *Леса Урала и хозяйство в них: сборник научных трудов. Уральская государственная лесотехническая академия.* 1994. 17. С. 199–202.
136. Старикова Е.А., Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В. Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2016. № 10 (52). С. 45–48. Doi: 10.18454/IRJ.2016.52.044
137. Сулова О.П. *Picea pungens* Engelm. в урбанодендрофлорі промислових міст південного сходу України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2016. Вип. 26.3. С. 172–177.
138. Таран И.В., Агапова А.М. Зеленое строительство в малых городах. Новосибирск, 1987. 198 с.
139. Терлига Н.С. Сучасний стан хвойних в зелених насадженнях міста Кривий Ріг. *Агробіологія.* 2012. № 8. С. 157–160.
140. Терлига Н.С., Данильчук О.В., Юхименко Ю. С., Федоровський В.Д., Данильчук Н.М. Культивована дендрофлора парків і скверів Кривого Рогу: історичні аспекти формування та сучасний стан. *Вісник Харківського національного аграрного університету: Серія Біологія.* 2015. № 2 (35). С. 93–101.
141. Терлига Н.С., Федоровський В.Д., Юхименко Ю.С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптева О.В. Ботаніко-географічний аналіз і частота трапляння видів деревно- чагарникової рослинності зелених насаджень Кривого Рогу. *Вісник Запорізького національного університету.* 2014. № 1. С. 200–210.
142. Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis*. *Вестник ОГУ.* 2010. № 12 (118). С. 9–12.
143. Титова М.С. Особенности фотосинтезирующей активности хвои интродуцированных видов *Picea* A. Dietr. в дендрарии горнотаежной станции. *Фундаментальные исследования.* 2013. № 11. С. 128–132.

144. Титова, М.С. Сравнительный анализ накопления каротиноидов в хвое. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2014. № 2. С. 48–50.
145. Тихоненко Д.Г. Про класифікацію ґрунтів України. *Вісник Херсонського державного аграрно-економічного університету*. 2001. № 3. С. 33–39.
146. Токарева Т.Г. Экологическая оценка техногенного воздействия на еловые леса Кольского полуострова. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Москва, 1992. 20 с.
147. Третьякова И.Н., Бажина Е.В. Качество пыльцы пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах озера Байкал. *Лесоведение*. 1999. № 4. С. 30–38.
148. Третьяк Н.П. Вплив нагромадження хлору на фізіологічний стан дерев в умовах міста. *Інтродукція та акліматизація рослин на Україні*. Київ: Наук. думка, 1980. Вип. 16. С. 90–92.
149. Тужилкина В.В., Ладанова Н.В., Плюснина С.Н. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны. *Экология*. 1998. № 2. С. 89–93.
150. Тупицин С.С., Рябогина Н.Е., Тупицина С.С. Уровень техногенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2012. Т. 14, № 1 (3). С. 822–828.
151. Тупицын С.С. Мужская генеративная сфера сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных экологических условиях. *АгроЭкоИнфо*. 2015. 6. С. 1–9.
152. Тямін М.Ю. Історія розвитку гірничодобувного району на прикладі Кривого Рогу. *Праці Центру пам'яткознавства: збірник наукових праць*. Кривий Ріг, 2011. Вип. 20. С. 248–258.
153. Федорков А.Л. Микроспорогенез сосны при загрязнении среды в Российской Лапландии. *Лесной журнал*. 1995. № 1. С. 48–50.

154. Федоров Н.И., Сарнацкий В.В. Причинно-следственные связи массового усыхания ельников Беларуси в 1993–1998 годы. *Лес XXI века: тез. докл. межд. практ. конф.*, 20–24 октября 2005 г. Брянск, 2005. С. 58.
155. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва: Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 2001. 288 с.
156. Федоровский В.Д., Мазур А.Е. Древесные растения Криворожского ботанического сада. Днепропетровск: Проспект, 2007. 256 с.
157. Федоровський В.Д., Терлига Н.С., Юхименко Ю. С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптева О.В. Видовий склад та життєвий стан деревно-чагарникової рослинності парків та скверів м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин*. 2013. № 3. 73–79.
158. 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.
159. 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.eso.1-28.45
160. Федорчак Е.Р. Потенційна та фактична насіннева продуктивність *Picea abies* та *P. pungens* ‘Glausa’ в насадженнях м. Кривий Ріг. «Актуальні проблеми ботаніки та екології»: міжнародна конференція молодих учених, 6–9 вересня 2019 р. Харків, 2019. С. 46–47.
161. Феклистов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска. Архангельск: изд-во АГТУ, 2004. 112 с.

162. Феклистов П.А. Физиология растений: Методические указания к учебной практике. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 19 с.
163. Хвастунов А.И. Экологические проблемы малых и средних промышленных городов: оценка антропогенного воздействия Йошкар-Ола, 1999. 247 с.
164. Чепик Ф.А. Определитель деревьев и кустарников. Москва: Агропромиздат, 1985, 232 с.
165. Черкасов М.И. Композиция зеленых насаждений. Москва: Гослесбумиздат, 1954. 281 с.
166. Чернышов М.П., Арефьев Ю.Ф., Титов Е.В., Беспаленко О.Н., Дорофеева В.Д., Кругляк В.В., Пярых А.М. Хвойные породы в озеленении Центральной России. Москва: Колос, 2007. 328 с.
167. Шевченко С.А., Сагайдачна Т.М. Деревинознавство. Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання. Харків: ХНТУСГ, 2011. 39 с.
168. Шевченко С.В. Продуктивность, возобновление и защита еловых лесов в западных областях УССР. *Корневая губка: сб. науч. тр.* Харьков: Изд-во "Прапор", 1974. С. 57–62.
169. 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.
170. Шевчук Н.Ю., Коршиков І.І., Гусейнова Е.Р., Петрушкевич Ю.М., Красноштан О.В. Розповсюдженість та життєздатність видів роду *Pinus* L. в насадженнях м. Кривого Рогу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2017. Вип. 46. С. 10–17.
171. Шлапак В.П., Музыка Г.І., Вітенко В.А. ГІС – технологія як один з пріоритетних напрямків інвентаризації деревних насаджень парку "Софіївка". *Науковий вісник Національного лісотехнічного*

- університету України: зб. наук.-техн. праць. Львів, 2010. Вип. 20.5. С. 286–291.
172. Эйтинген Г.Р. Лесоводство. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. 368 с.
173. Юсипіва Т.І. Біоекологічний аналіз стану хвої *Picea pungens* в умовах викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС». *Ecology and Noospherology*. 2018. 29 (2). С. 119–124. Doi:10.15421/031819
174. Юсипіва Т.І. Біометричні характеристики пагонів *Picea pungens* за дії промислового забруднення. *Питання біоіндикації та екології*. 2017. Вип. 22, № 1. С. 57–66.
175. Ющук Є.Д. Лесная подстилка искусственных лесов Кривбасса. *Роль подстилки в лесных биогеоценозах: тез. докл. Всесоюз. совещ., 14–18 сент. 1983 г. Красноярск, 1983. С. 209.*
176. Ющук Є.Д. Мікроморфологія ґрунтів під лісовим насадженням в умовах промислового Криворіжжя. *Проблеми фундаментальної та прикладної екології: матеріали III Міжнародної наукової конференції. Кривий ріг: Видавництво "І.В.І", 2001. С. 43–45.*
177. Ярмишко В.Т. Диагностика поврежденных и оценка жизненного состояния деревьев и древостоев в условиях промышленного атмосферного загрязнения. *Методы изучения лесных сообществ. СПб: НИИ химии СПбГУ, 2002. 240 с.*
178. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.
179. Ярмишко В.Т. Состояние сосновых древостоев. *Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полу острова. 1990. С. 104–109.*
180. Ahmad A., Vano N. Ambient air quality of Firozabad city- a spatio-temporal analysis. *Journal of Global Biosciences*. 2015. Vol. 4. P. 1488–1496.

181. Akimoto H. Global air quality and pollution. *Science*. 2003. 302 (5651). P. 1716–1719. Doi: 10.1126/science.1092666.
182. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010. 259 (4). P. 660–684. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.
183. Amulya L., Hemanth K., Jagannath S. Air pollution impact on micromorphological and biochemical response of *Tabernaemontana divaricata* L. (Gentianales: Apocynaceae) and *Hamelia patens* Jacq. (Gentianales: Rubiaceae). *Brazilian Journal of Biological Sciences*. 2015. Vol. 2, № 4. P. 287–294.
184. Augustaitis A., Bytnerowicz A. Contribution of ambient ozone to Scots pine defoliation and reduced growth in the Central European forests: A Lithuanian case study. *Environmental Pollution*. 2008. 155. P. 436–445. Doi:10.1016/j.envpol.2008.01.042.
185. Baciak M., Warmiński K., Bęś A. The effect of selected gaseous air pollutants on woody plants. *Leśne Prace Badawcze*. 2015. Vol. 76 (4). P. 401–409. Doi: 10.1515/frp-2015-0039.
186. Bacic T., Uzarevic Z., Grgic L., Rosa J., Popovic Z. Chlorophylls and carotenoids in needles of damaged fir (*Abies alba* Mill.) from risnjak national park in Croatia. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2003. 45 (2). P. 87–92.
187. Badot P.M. Secheresse pollution atmospherique et deperissement de l'Epicea dans le massif jurassien. *Rev. For. Fr.* 1991. T. 43, № 1. P. 27–34.
188. Barzdajn W. Biologia swierka pospolitego. Polska Akademia Nauk. Instytut Dendrologii. Poznan: Bogucki Wydawnictwo Naukowe. P. 781.
189. Bassuk N., Whitlow T. Environmental stress in street trees. *Arboricult. J.* 1988. Vol. 12, № 2. P. 195–201.

190. Beadion R. Performance de 42 provenances d'Épinette du Colorado et de deux provenances d'Épinette d'Engelmann en plantation sur un site au Québec. *Note de recherche forestière*. 1999. № 76. P. 1–8.
191. Beckett K.P., Freer-Smith P.H., Taylor G. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Glob. Change Biol.* 2000. 6. P. 995–1003 Doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x
192. Benoit L.F., J. Scelly J., Moora L.D. The influence of ozone on *Pinus strobus* L. pollen germination. *Can. J. Forest.* 1983. Vol. 13, № 1. P. 184–187.
193. Bloem E., Haneklaus S., Schnug E. Milestones in plant sulfur research on sulfur-induced-resistance (SIR) in Europe. *Front. Plant Sci.* 2015. 5. P. 779–786. Doi: 10.3389/fpls.2014.00779
194. Bojarczuk T. Świerk kłujący (*Picea pungens*). Działkowiec, 2001. P. 10.
195. Bongarten B.C., Hanover J.W. Genetic parameters of blue spruce (*Picea pungens*) at two locations in Michigan. *Silvae Genetica*. 1986. 35 (2–3). P. 106–112.
196. Borka G. Effect of cement kiln dust on Maize plant. *Acta Agron Hung.* 1981. 30. P. 289–295.
197. Brod H.G. Vergleichende Betrachtungen über die Wirkungen verschiedener Auftausalze (NaCl, CaCl₂ und MgCl₂) auf Gehölze. *Vegetationstechn. Landschafts und Sportstättenbau*. 1988. Vol. 11, № 3. P. 129–133.
198. Buhler H.R. Baume in der Stadt Schweiz. *Z. Forstw.* 1978. 129, № 8. P. 645–647.
199. Bukharina I.L., Vedernikova K.E., Pashkova A.S. Morphophysiological traits of spruce trees in conditions of Izhevsk. *Forest Studies*. 2016. 2. P. 96–106. Doi: 10.1134/S1995425516070027.
200. Bytnerowicz A., Omasa K., Paoletti E. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective.

- Environmental Pollution*. 2007. 147. P. 438–445. Doi: 10.1016/j.envpol.2006.08.028.
201. Carinanos P., Casares-Porcel M., Quesada-Rubio J.M. Estimating the allergenic potential of urban green spaces: a case-study in Granada, Spain. *Landscape Urban Plann.* 2014. 123. P. 134–144.
202. Chalupka W. Pollen formed under pollution affects some quantitative characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. *Forest Genetics*. 1998. 5 (3). P. 133–136.
203. Chan C.K., Yao X. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*. 2008. 42 (1). P. 1–42. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.003.
204. Charan P.D., Sahel H. Study of respirable dust in ambient air of bikaner city and its impact on human health. *Applied Journal of Hygiene*. 2014. 3. P. 11–14.
205. Chaudhary P., Singh D., Kumar J. and Singh S.K. Assessment of ambient air quality in northern India using air quality index method. *Bulletin of Environmental and Scientific Research*. 2013. 2. P. 12–17.
206. 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. 7 (3206). P. 1–11. Doi: 10.1038/s41598-017-03360-1.
207. Chojnowska E. Iglaki w ogrodzie. Warszawa: Multico Oficyna Wydawnicza, 2000. P. 272.
208. Chudzińska E., Celiński K., Pawlaczyk E.M., Wojnicka-Półtorak A., Diatta J.B. Trace element contamination differentiates the natural population of Scots pine: evidence from DNA microsatellites and needle morphology. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2016. 23 (21). P. 22151–22162. Doi: 10.1007/s11356-016-7472-9.
209. Curguz V.G., Raičević V., Veselinović M., Tabakovic-Tošić M., Vilotić D. Influence of heavy metals on seed germination and growth of *Picea abies* L. Karst. *Pol. J. Environ. Stud.* 2012. 21 (2). P. 355–365.

210. Darley E.F. Studies on the effect of cement kiln dust on vegetation. *J. Air Pollut Contr Ass.* 196 16 (3). P. 145–150.
211. Deligöz A., Bayar E., Genç M., Karatepe Y., Kirdar E., Cankara F. Seasonal and needle age-related variations in the biochemical characteristics of *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *Journal of Forest Science.* 2018. 64 (9). P. 379–386. Doi: 10.17221/66/2018-JFS.
212. Di Vittorio A.V. Pigment-based identification of ozone-damaged pine needles as a basis for spectral segregation of needle conditions. *Journal of Environmental Quality.* 2009. 38 (3). P. 855–867. Doi: 10.2134/jeq2008.0260.
213. Farmer A.M. The effects of dust on vegetation—A review. *Environmental Pollution.* 1993. 79 (1). P. 63–75 Doi: 10.1016/0269-7491(93)90179-R.
214. 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.
215. Flagler R.B. Recognition of air pollution injury to vegetation: a pictorial atlas. Pittsburgh, 1998. P. 160.
216. Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, ‘Beaupre’, *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution.* 2005. 133. P. 157–167.
217. Gallo J., Kunes I., Balas M., Novakova O., Drury M.L. Occurrence of frost episodes and their dynamics in heightgradient above the ground in the Jizerske hory Mts. *J For Sci.* 2014. 60 (1). P. 35–41.
218. Gebauer R., Volarik D., Urban J., Børja I., Nagy N.E., Eldhuset T.D., Krokene P. Effects of prolonged drought on the anatomy of sun and shade needles in young Norway spruce trees. *Ecology and Evolution.* 2015. 5 (21). P. 4989–4998. Doi: 10.1002/ece3.1766.

219. Gottardini E., Cristofolini F., Paoletti E., Lazzeri P., Pepponi G. Pollen viability for air pollution bio-monitoring. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2004. 49 (1–3). P. 149–159. Doi: 10.1007/s10874-004-1221-z.
220. Greaver T.L., Sullivan T.J., Herrick J.D., Barber M.C., Baron J.S., Cosby B.J., et al. Ecological effects of nitrogen and sulfur air pollution in the US: what do we know? *Front. Ecol. Environ.* 2012. 10 (7). P. 365–372. Doi: 10.1890/110049.
221. Greszta J., Gruszka A., Kowalkowska M. Wpływ imisji na ekosystem. Katowice, 2002. P. 412.
222. Grill D., Tausz M., Pöllinger U., Jimenez M.S., Morales D. Effects of drought on needle anatomy of *Pinus canariensis*. *Flora*. 2004. 199. P. 85–89. Doi: 10.1078/0367-2530-00137.
223. Grodzki W.P., Grodzki W., Oszako T. Current problems of forest protection in spruce stands under conversion. *Forest Research Institute*. 2006. P. 4–6.
224. Gupta G.P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U.C. Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*. 2016. 16. P. 2920–2932. Doi: 10.4209/aaqr.2015.04.0272.
225. Heerden P.D.R., Kruger G.H.J, Louw M.K. Dynamic Response of Photo system II in the Nalimb Desert shrub, *Zygophyllum prismatocarpum*, during and after foliar deposition of lime stone dust. *Environmental pollution*. 2007. 146 (1). P. 34–45.
226. Hentschel R., Rosner S., Kayler Z.E., Andreassen K., Borja I., Solberg S., Tveito O.E., Priesack E.P., Gessler A. Norway spruce physiological and anatomical predisposition to dieback. *Forest Ecology and Management*. 2014. 322. P. 27–36. Doi: 10.1016/j.foreco.2014.03.007.
227. Huseinova 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. 54–55.
228. Jäger E.J. Indikation von Luftverunreinigungen durch morphometrische Untersuchungen an Hoheren Pflanzen. *Bioindikation*. 1980. 3. P. 43–52.
229. Jager H.J., Klein H. Biochemical and physiological effects of SO₂ on plants. *Angewandte Botanik*. 1980. 54 (5–6). P. 337–348.
230. Jim C.Y., Chen W.Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*. 2008. 88. P. 665–676. Doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.035.
231. Johansson T. Growth and yield in shelter stands of silver birch and Norway spruce. Swedish University of Agricultural Sciences, 2014. P. 32.
232. Kaliniewicz Z., Żuk Z.; Kusinska E. Variations and correlations between the physical properties of seeds of eleven Spruce species. *Preprints*. 2018. P. 1–13. Doi: 10.20944/preprints201808.0400.v1.
233. Karnosky D.F., Skelly J.M., Percy K.E., Chappelka A.H. Perspectives regarding 50 years of research on effects of tropospheric ozone air pollution on US forests. *Environmental Pollution*. 2007. 147. P. 489–506. Doi: 10.1016/j.envpol.2006.08.043.
234. Karolewski P.S. Oddziaływanie tlenków azotu na rośliny drzewiaste, in: *Życie drzew w skażonym środowisku* (ed. S. Białobok). Polska Akademia Nauk, Instytut Dendrologii. 1998. P. 129–141.
235. Kato A., Moskal L.M., Schiess P., Swanson M.E., Calhoun D., Stuetzle W. Capturing tree crown formation through implicit surface reconstruction using airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment*. 2009. 113. P. 1148–1162. Doi:10.1016/j.rse.2009.02.010.
236. Kivimäenpää M., Sutinen S., Valolahti H., Häikiö E., Riikonen J., Kasurinen A., Ghimire R.P., Holopainen J.K., Holopainen T. Warming and elevated ozone differently modify needle anatomy of Norway spruce (*Picea*

- abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. 47 (4). P. 488–499. Doi: 10.1139/cjfr-2016-0406.
237. Kmet J., Ditmarova L., Priwitzer T., Kurjak D., Balaz P., Blazenec M. Physiological limits—a possible cause of spruce decline. *Beskydy*. 2010. 3 (1). P. 55–64.
238. Koltay A. Health condition of Hungarian pine forests. *Methodology of forest insect and disease survey in central Europe: proceedings from the IUFRO WP 7.03.10, 21–24 April 1988*. Ustron – Jaszowiec (Poland), 1998. P. 133–137.
239. Konijnendijk C.C., Richard R.M., Kenney A., Randrup T.B. Defining urban forestry - a comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006. 4 (3–4). P. 93–103. Doi: 10.1016/j.ufug.2005.11.003.
240. Kopáček J., Hruška J. Reconstruction of acidic deposition in the catchments of Plešné and Čertovo lakes (the Bohemian Forest). *Silva Gabreta*. 2010. 16. P. 149–163.
241. Korshikov I., Belonozhko Y., Lapteva H. Cytogenetic abnormalities in seed progenies of *Pinus pallasiana* D. Don stands from technogenic polluted lands in the steppe of Ukraine. *Ekologia (Bratislava)*. 2019. 38 (1). P. 117–125. Doi: 10.2478/eko-2019-0009.
242. Krakowski J., El-Kassaby Y.A. Lodgepole Pine and White Spruce germination: effects of stratification and simulated aging. *Silvae Genetica*. 2005. 54 (3). P. 138–144. Doi: 10.1515/sg-2005-0021.
243. Kumar S.R., Arumugam T., Anandakumar C.R., Balakrishnan S., Rajavel D.S. Use of plant species in controlling environmental pollution- A Review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2013. Vol. 2 (2). P. 52–63.
244. Kunes I., Balas M., Linda R., Gallo J., Novakova O. Effects of brassinosteroid application on seed germination of Norway spruce, Scots

- pine, Douglas fir and English oak. *iForest*. 2016. 10. P. 121–127. Doi: 10.3832/ifor1578-009.
245. Kushwaha U., Shrivastava R., Mishra A. Dust pollution effects on the leaves anatomy of *Catharanthus roseus* and *Nerium oleander* growing along the road side of Rewa city (M.P.). *The International Journal of Engineering and Science*. 2018. Vol. 7. P. 1–7. Doi: 10.9790/1813-0709020107
246. 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. 1. P. 1–4. Doi: 10.1155/2014/572576.
247. Laar A.V., Akça A. Forest mensuration. Göttingen: Akça Cuvillier Verlag, 1997. P. 418.
248. Lawlor D.W. Plant growth in polyethylene glycol solutions in relation to the osmotic potential of the root medium and leaf water balance. *J. Exptl. Bot.* 1969. Vol. 20, № 65. P. 577–579.
249. Legge A.H., Krupa S.V. Wpływ dwutlenku siarki, in: *Zanieczyszczenia powietrza a życie roślin* (eds. J.N.B. Bell, M. Treshow). *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*. 2004. P. 151–179.
250. Legoshchina O.M., Neverova O.A., Bykov A.A. Variability of the anatomical structure of *Picea obovata* Ledeb. needles under the influence of emissions from the industrial zone of Kemerovo. *Contemporary problems of Ecology*. 2013. 6 (5). P. 733–740. Doi: 10.1134/S1995425513050065.
251. Lepeduš H., Cesar V. Biochemical and anatomical changes of spruce needles exposed to urban dust pollution. *Acta Botanica Hungarica*. 2004. 46 (1). P. 201–210. Doi: 10.1556/ABot.46.2004.1-2.14.
252. 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. 62 (1). P. 27–35.

253. Lindbladh M., O'Connor R., Jacobson G. Morphometric analysis of pollen grains for paleoecological studies classification of *Picea* from eastern North America. *American Journal of Botany*. 2002. 89. P. 1459–1467.
254. Liu X., Duan L., Mo J., Du E., Shen J., Lu X., Zhang Y., Zhou X., He Ch., Zhang F. Nitrogen deposition and its ecological impact in China: An overview. *Environmental Pollution*. 2011. 159. P. 2251–2264. Doi:10.1016/j.envpol.2010.08.002.
255. López R., Climent J., Gil L. From desert to cloud forest: The non-trivial phenotypic variation of Canary Island pine needles trees. *Structure and Function*. 2008. 22. P. 843–849. Doi: 10.1007 / s00468-008-0245-4.
256. Mage D., Ozolins G., Peterson P., Webster A., Orthofer R., Vandeweerd V., Gwynne M. Urban air pollution in megacities of the world. *Atmospheric Environment*. 1996. 30 (5). P. 681–686. Doi: 10.1016/1352-2310(95)00219-7.
257. Malik I., Wistuba M., Danek M., Danek T., Krąpiec M. Wpływ emisji zanieczyszczeń atmosferycznych przez Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach (północna część Wyżyny Śląskiej) na szerokość przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. 2011. 47. P. 9–21.
258. Mandre M., Lukjanova A. Biochemical and structural characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in an alkaline environment. *Estonian Journal of Ecology*. 2011. 60 (4). P. 264–283. Doi: 10.3176/eco.2011.4.02
259. Matussek R., Reich P., Oren R., Winner W. Response Mechanisms of Conifers to Air Pollutants. *Ecophysiology of Coniferous Forests*. 1995. P. 255–308. Doi: 10.1016/B978-0-08-092593-6.50014-1.
260. Mazare G. Biometrical Studies Concerning the *Picea pungens* var. 'Argentea' Behaviour in our Country. *Bulletin UASVM Horticulture*. 2009. 66 (1). P. 597–600.
261. Mihalache A. Monografia arboretumului Hemeiuș. București: Red. Prop. Tehn. Agric., 1989. P. 248.

262. Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia. *Journal of Forest Research*. 2017. 22. P. 386–392. Doi: 10.1080/13416979.2017.1386020.
263. Miron M.S., Sumalan R.L. Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) seedlings to drought and overheating stress condition. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2015. 19 (2). P. 146–151.
264. Modrzynski J. Defoliation of older Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) stands in the Polish Sudety and Carpathian mountains. *Forest Ecology and Management*. 2003. 181 (3). P. 289–299. Doi: 10.1016/S0378-1127(02)00657-6.
265. Mosseler A., Major J.E., Simpson J.D., Daigle B., Lange K., Park Y.S., Johnsen K.H., Rajora O.P. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany*. 2001. 78 (7). P. 928–940. Doi: 10.1139/b00-065.
266. Mtambalika K., Munthali Ch., Gondwe D., Missanjo E. Effect of seed size of *Afzelia quanzensis* on germination and seedling growth. *Int. J. For. Res.* 2014. P. 1–5. Doi: 10.1155/2014/384565.
267. Naik D.P., Somasekhar R.K. Reduction in protein and chlorophyll contents in some plant species due to some stone quarrying activity. *Environ Polln Cont J.* 2005. 8. P. 42–44.
268. Nayyar H., Gupta D. Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 2006. 58. P. 106–113.
269. Nikolaevsky V.S. Ecological assessment of the environmental pollution and the earth-based systems state by the phytoindication method. Pushkino: Izd-vo VNIILM, 2002. P. 220.

270. Nikolic M.B., Stefanović A.M., Veselinović M.M., Milanović D.S., Mladenović D.K., Mitrović Ž.S., Eremija M.S., Rakonjac B.LJ. Needle morpho-anatomy and pollen morphophysiology of selected conifers in urban conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. 17 (2). P. 2831–2848. Doi: 10.15666/aeer/1702_28312848.
271. Nilson H., Hjalten J. Covering pine seeds immediately after seeding: effects of seeding emergence and on mortality through seed-predation. *Forest Ecology and Management*. 2003. 176. P. 449–457.
272. Nowak D.J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 2014. 193. P. 119–129. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.05.028.
273. Ots K., Mandre M., Kuznetsova T., Klõšeiko J., Tilk M., Kõresaar K., Lukjanova A., Kikamägi K., Indriksons A., Varnagiryte-Kabasinskiene I. Changes in the canopies of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* under alkaline dust impact in the industrial region of Northeast Estonia. *Forest ecology and management*. 2011. 262 (2). P. 82–87. Doi: 10.1016/j.foreco.2010.07.031.
274. Paoletti E., Schaub M., Matyssek R., Wieser G., Augustaitis A., Bastrup-Birk A.M., Bytnerowicz A., Günthardt-Goerg M.S., Müller-Starck G., Serengil Y. Advances of air pollution science: From forest decline to multiple-stress effects on forest ecosystem services. *Environmental Pollution*. 2010. 158. P. 1986–1989. Doi:10.1016/j.envpol.2009.11.023.
275. Pawar A. Impact on the phenological events of plants under stress conditions of auto-exhaust pollution. *Journal of Pure & Applied Sciences & Technology*. 2013. Vol. 3 (2). P. 1–4.
276. Petkovšek S.A.S., Batic F., Lasnik C.R. Norway spruce needles as bioindicator of air pollution in the area of influence of the Sostanj Thermal Power Plant, Slovenia. *Environmental Pollution*. 2008. 151 (2). P. 287–291. Doi:101016/jenvpol200706036.

277. Power K., Gillis M.D. Canada's forest inventory 2001–2006. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia. *Information Report BC-X-408E*, 2006. 100 p.
278. Pretzsch H., Schütze G. Crown allometry and growing space efficiency of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) in pure and mixed stands. *Plant Biology*. 2005. 7. P. 628–639. Doi: 10.1055/s-2005-86596.
279. Pretzsch H., Biber P., Uhla E., Dahlhausena J., Rötzer T., Caldentey J., Koikec T., van Cond T., Chavanee A., Seifertf T., du Toitf B., Farndeng C., Pauleit S. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015. 14. P. 466–479. Doi:10.1016/j.ufug.2015.04.006.
280. Pukacka S., Pukacki P.M. Seasonal changes in antioxidant level of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles exposed to industrial pollution. I. ascorbate and thiol content. *Acta Physiol Plant*. 2000. 22. P. 451–456. Doi:10.1007/s11738-000-0088-0.
281. Pukacki P.M., Chałupka W. Environmental pollution changes in membrane lipids, antioxidants and vitality of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pollen. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2003. 72 (2). P. 99–104. Doi:10.5586/asbp.2003.012.
282. Qin X., Sun N, Ma L, Chang Y, Mu L.: Anatomical and physiological responses of Colorado blue spruce to vehicle exhausts. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2014. 21 (18). P. 11094–11098. Doi: 10.1007/s11356-014-3015-4.
283. Rahul J., Jain M.K. An Investigation in to the Impact of Particulate Matter on Vegetation along the National Highway: A Review. *Research Journal of Environmental Sciences*. 2014. 8. P. 356–372. Doi: 10.3923/rjes.2014.356.372.
284. Rai P.K., Panda L.L.S. Leaf dust deposition and its impact on biochemical aspect of some Roadside plants of Aizawl, Mizoram, North

- East India. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2014. 3 (11). P. 14–19.
285. Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common. *Journal of food, Agriculture and Environment*. 2006. 4 (1). P. 253–259.
286. Rao P.S., Mhaisalkar V.A., Shrivastava A., Kumar A., Chakrabarti T., Devotta S. Environmental impact of plantations in and around the petroleum refinery: a case study. *Environ Monit Assess*. 2010. 168 (1–4). P. 55–61. Doi: 10.1007/s10661-009-1091-6.
287. Rubțov Ș. Culture woody species in nurseries (forest and decorative). București: Agro-Forestry State, 1958. P. 448.
288. Rydval M., Wilson R. The impact of industrial SO₂ pollution on North Bohemia conifers. *Water air soil pollut*. 2012. 223 (9). P. 5727–5744. Doi: 10.1007/s11270-012-1310-6.
289. Saebo A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*. 2012. 427. P. 347–354. Doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.084.
290. Sarma B., Chanda S.K., Bhuyan M. Impact of dust accumulation on three roadside plants and their adaptive responses at National Highway 37, Assam, India. *Tropical Plant Research*. 2017. 4 (1). P. 161–167. Doi: 10.22271/tpr.2017.v4.i1.023.
291. Schiop S.T., Hassan M.A., Sestras A.F., Boscaiu M., Sestras R.E., Vicente O. Identification of salt stress biomarkers in Romanian carpathian populations of *Picea abies* (L.) Karst. *PLOS ONE*. 2015. 10 (8). P. 14–22. Doi: 10.1371/journal.pone.0135419.
292. Schwegler F. Air quality management: a mining perspective. *Ecology and the Environment*. 2006. 86. P. 205–212. Doi: 10.2495/AIR06021.
293. Sénéchal H., Visez Charpin D., Shahali Y., Peltre G., Biolley Lhuissier F., Couderc R., Yamada O., Malrat-Domenge A., Pham-Thi

- N., Poncet P., and 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.
294. Seneta W. *Dendrologia*. Warszawa: PWN, 1987. P. 296.
295. Sett R. Responses in plants exposed to dust pollution. *Horticult Int J*. 2017. 1 (2). P. 53–56. Doi: 10.15406/hij.2017.01.00010
296. Seyyednejad S.M., Koochak H. A study on air pollution effects on *Eucalyptus camaldulensis*. *Int. Conf. Environ. Biomed. Biotechnol*. 2011. 16. P. 98–101.
297. Sha Ch., Wang T., Lu J. Relative sensitivity of wetland plants to SO₂ pollution. *Wetlands*. 2010. 30. P. 1023–1030. Doi: 10.1007/s13157-010-0095-x.
298. Sharma R.P., Vacek Z., Vacek S. Generalized nonlinear mixed-effects individual tree crown ratio models for Norway spruce and European beech. *Forests*. 2018. 9 (9). P. 2–19. Doi:10.3390/f9090555.
299. Sher Z., Hussain F. Effect of automobile traffic on some cultivated trees along road side in Peshawar. *Pakistan Journal of Plant Science*. 2006. 12 (1). P. 47–54.
300. Shrivastava R. “Studies on ambient air quality and its impact on micro benjamina in rewa city (M.P), India”. *International Journal of Current Research*. 2017. 9 (5). P. 50147–50152.
301. Shukla S., Sharma R.B., Sahu M. Dust pollution affect morphophysiological traits of plant *Mangifera indica* Linn. *International Journal of Botany*. 2019. 15. P. 1–4. Doi:10.3923/ijb.2019.1.4.
302. Sierota Z. Fungal diseases in last year's in Poland. *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe: proceedings from the IUFRO WP 7.03.10, 21–24 April 1998*. Ustron-Jaszowiec (Poland), 1998. P. 153–155.
303. Silkina O.V., Vinokurova R.I. Seasonal dynamics of chlorophyll and microelement content in developing conifer needles of *Abies sibirica* and

- Picea abies*. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2009. 56. P. 780–786. Doi:10.1134/S1021443709060077.
304. Singh L., Siddiqui Z.A. Effect of *Alternaria tritricina* and foliar flyash deposition on growth, yield photosynthetic pigment, proteins and lysine contents of three cultivars of wheat. *Bioresour Technol*. 2003. 86 (2). P. 189–192.
305. Șofletea N., Curtu L. Dendrologie, determinarea și descrierea speciilor. Brașov: Editura Pentru Viață, 2000. Vol. I. P. 330.
306. Soukupova J. Rock B.N., Albrechtova J. Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region. *New Phytologist*. 2001. 150 (1). P. 133–145. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2001.00066.x.
307. Stern D.I. Global sulphur emissions from 1850 to 2000. *Chemosphere*. 2005. 58. P. 163–175.
308. Supe G.N., Gawande S.M. Effects of dustfall on vegetation. *International Journal of Science and Research*. 2015. Volume 4 (7). P. 2184–2188.
309. Suszka B., Chmielarz P., Walkenhorst R. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? *Annals of Forest Science*. 2005. 62 (1). P. 73–78. Doi: 10.1051/forest:2004082.
310. Swami A. Impact of automobile induced air pollution on road side vegetation. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*. 2018. 9 (1). P. 104–119. Doi: 10.31786/09756272.18.9.1.113.
311. Tang Y., Han G. Seasonal variation and quality assessment of the major and trace elements of atmospheric dust in a typical Karst city, southwest China *international. Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. 16 (3). P. 325. Doi: 10.3390/ijerph16030325.
312. Tausz M., De Kok L., Stulen I., Grill D. Physiological responses of Norway spruce trees to elevated CO₂ and SO₂. *Journal of Plant Physiology*. 1996. P. 362–367. Doi: 10.1016/S0176-1617(96)80266-5.

313. Teper E. Dust-particle migration around flotation tailings ponds: pine needles as passive samplers. *Environ. Monit. Assess.* 2009. 154. P. 383–391. Doi: 10.1007/s10661-008-0405-4.
314. Terzaghi E., Wild E., Zacchello G., Cerabolini E.L., Jones K.V., Di Guardo A. Forest filter effect: role of leaves in capturing/releasing air particulate matter and its associated PAHS. *Atm. Environ.* 2013. 74. P. 378–384. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.013.
315. Tretjakova I.N., Bagina E.V. Structure of crown as welen and seed viability of fie (*Abies, sibirica* Ledcb.) turbed forest ecosystems of the Khamar-Daban MT Baical lake. *Ecologia (Bratislava)*. 2000. Vol. 19. P. 280–294.
316. Tretyakova I.N., Noskova N.E. Scotch pine pollen under conditions of environmental stress Russian. *Journal of Ecology*. 2004. 35 (1). P. 20–26. Doi: 10.1023/b:ruse.0000011105.90297.07.
317. Tyukavina O.N., Neverov N.A., Klevtsov D.N. Influence of growing conditions on morphological and anatomical characteristics of pine needles in the northern taiga. *Journal of Forest Science*. 2019. 65 (1). P. 33–39. Doi: 10.17221/126/2018-JFS.
318. Uddenberg D., Reimegård J., Clapham D., Almqvist C., Arnold S., Emanuelsson O., Sundström J.F. Early cone setting in *Picea abies* acrocona is associated with increased transcriptional activity of a mads box transcription factor. *Plant physiology*. 2013. Vol. 161. P. 813–823. Doi: 10.1104/pp.112.207746.
319. Uhrin P., Supuka J. Quality assessment of urban trees using growth visual and chlorophyll fluorescence indicators. *Ekologia (Bratislava)*. 2016. 35 (2). P. 160–172. Doi: 10.1515/eko-2016-0013.
320. Vacek S., Bílek L., Schwarz O., Hejzmanová P., Mikeska M. Effect of air pollution on the health status of spruce stands – a case study in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Mt. Res. Dev.* 2013. 33 (1). P. 40–50. Doi: 10.1659/MRDJOURNAL-D-12-00028.1.

321. Verma V., Chandra N. Biochemical and ultrastructural changes in *Sida cordifolia* L. and *Catharanthus roseus* L. to auto pollution. *International Scholarly Research Notices*. 2014. P. 1–11. Doi: 10.1155/2014/263092.
322. Vijaywargiya A., Pandey G.P. Effect of cement dust on soybean, *Glycine max* (L) merr. And Maize, *Zea mays* Linn. Inflorescence study. *Geobios*. 2003. 30. P. 209–212.
323. Wahid N., Gonzales-Martinez S.C., Hadrami I.E., Boulli A. Variation of morphological traits in natural populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Morocco. *Annals of Forest Sciences*. 2006. 63. P. 83–92.
324. Wallin G., Karlsson P.E, Sellden G. Ottosson S., Medin E.L., Pleijel H., Skarby L. Impact of four years exposure to different levels of ozone, phosphorus and drought on chlorophyll, mineral nutrients, and stem volume of Norway spruce, *Picea abies*. *Physiologia Plantarum*. 2012. 114. P. 192–206. Doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1140205.x.
325. Wamelink G.W.W., Wieggers H.J.J., Reinds G.J., Kros J., Mol-Dijkstra J.P., van Oijen M., de Vries W. Modelling impacts of changes in carbon dioxide concentration, climate and nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and forest soils. *Forest Ecology and Management*. 2009. 258. P. 1794–1805. Doi:10.1016/j.foreco.2009.05.018.
326. Wang L., Liu L., Gao S., Hasi E., Wang Z. Physicochemical characteristics of ambient particles seeling upon leaf surfaces of urban plants in Beijing. *J. Environ. Sci*. 2006. 18. P. 921–926. Doi: 10.1016/S1001-0742(06)60015-6.
327. Warmiński K., Rogalski L., Bęś A. Oddziaływanie dwutlenku siarki i siarczanów(IV) na zanik chlorofilu w niektórych roślinach wskaźnikowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2005. 505. P. 491–501.
328. Wei X., Lyu S., Yu Y., Wang Z., Liu H., Pan D., Chen J. Phylloremediation of air pollutants: exploiting the potential of plant leaves and leaf-associated microbes. *Frontiers in Plant Science*. 2017. 8. P. 13–18. Doi: 10.3389/fpls.2017.01318.

329. Weinstein D.A., Laurence J.A., Retzlaff W.A., Kern J.S., Lee E.H., Hogsett W.E., Webera J. Predicting the effects of tropospheric ozone on regional productivity of ponderosa pine and white fir. *Forest Ecology and Management*. 2005. 205. P. 73–89. Doi: 10.1016/j.foreco.2004.10.007.
330. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. 144. P. 307–313. Doi: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.
331. Wu Z., Wang X., Chen F., Turnipseed A.A., Guenther A.B., Niyogi D., Charusombat U., Xia B., Munger W.J., Alapaty K. Evaluating the calculated dry deposition velocities of reactive nitrogen oxides and ozone from two community models over a temperate deciduous forest. *Atmospheric Environment*. 2011. 45. P. 2663–2674. Doi: 10.1029/2011JD016751.
332. 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.
333. Yusypiva T.I. Bioecological analysis of *Picea pungens* needles in the deteriorated conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant. *Ecology and Noospherology*. 2018. 29 (2). P. 119–124. Doi: 10.15421/031819.
334. Zapletal M., Cudlín P., Chroust P., Urban O., Pokorný R., Edwards-Jonášová M., Czerný R., Janouš D., Taufarová K., Večeřa Z., Mikuška P., Paoletti E. Ozone flux over a Norway spruce forest and correlation with net ecosystem production. *Environmental Pollution*. 2011. 159. P. 1024–1034.
335. Zarek M. Seasonal fluctuations of photosynthetic pigments content in *Taxus baccata* needles. *Dendrobiology*. 2016. 76. P. 13–24. Doi: 10.12657/denbio.076.002.

336. Zhang X., Wu N., Li C. Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. *Journal of Arid Environments*. 2005. 60. P. 567–579.
337. Zia-Khan S., Spreer W., Pengnian Y., Zhao X. Othmanli H., He X., Müller J. Effect of Dust Deposition on Stomatal Conductance and Leaf Temperature of Cotton in Northwest China. *Water*. 2015. 7. P. 116–131. Doi:10.3390/w7010116.
338. Ziche D., Seidling W. Homogenisation of climate time series from ICP Forests Level II monitoring sites in Germany based on interpolated climate data. *Annals of Forest Science*. 2010. 67 (8). P. 804–809.
339. Zirui J., Junhui W., Shougong Z. Pollen Morphology of 20 Species in *Picea* by Scanning Electron Microscope. *Scientia Silvae Sinicae*. 2014. 50 (5). P. 49–61.
340. Zlatev Z.S., Yordanov I.T. Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulg. Y. Plant Physiol*. 2004. Vol. 30, № 3–4. P. 3–18.

ДОДАТОК А – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

**Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові
результати 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 пилку *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* 'Glausa' 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.

ДОДАТОК Б – АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
 Директор Криворізького
 ботанічного саду НАН України
 д.б.н., проф. Коршиков І.І.
 « 15 » 2020 року



«УЗГОДЖЕНО»
 Директор Інституту екології Карпат
 НАН України,
 д.б.н., с.н.с. Данилик І. М.
 « 09 » 2020 року



АКТ

впровадження результатів науково-дослідної роботи

Організація: Інститут екології Карпат.

Цим актом підтверджується, що результати виконаної в Криворізькому ботанічному саду НАН України дисертаційної роботи Федорчак Е.Р. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук «ЕКОЛОГО – БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИДІВ РОДУ *PICEA* А. DIETR. В УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ М. КРИВИЙ РІГ» з держбюджетної теми № 0114U000686 «Екосистемологічні основи забезпечення сталого розвитку земель індустріального регіону» впроваджені у відділі екосистемології Інституту екології Карпат НАН України.

Вид впроваджених результатів: порівняльна оцінка стійкості *P. abies* (L.) Karst. та *P. pungens* Engelm. за умов різнорівневого забруднення довкілля.

Характеристика масштабу впровадження: одноразове.

Новизна результатів впровадження: якісно нові.

Форма впровадження: встановлення узагальненої оцінки стійкості *P. abies* (L.) Karst. та *P. Pungens* Engelm. в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу за біометричними, фізіолого-біохімічними, порівняльно-морфологічними, палінологічними показниками.

Результати впроваджені під час організації і проведення моніторингу стану довкілля територій, порушених видобутком корисних копалин, оскільки дозволяють використовувати хвойні рослини 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 стресових умов зростання.

Директор
 Інституту екології Карпат,
 д.б.н.

І.М.Данилик

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
 Директор Криворізького
 ботанічного саду НАН України
 д.б.н. Коршиков І.І.
 «17» 09/2020 року



«УЗГОДЖЕНО»
 Проректор з наукової роботи
 Дніпропетровського державного
 аграрно-економічного
 університету
 д.б.н., проф.



АКТ

впровадження результатів науково-дослідної роботи

Організація: Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Цим актом підтверджується, що результати виконаної в Криворізькому ботанічному саду НАН України дисертаційної роботи Федорчак Е.Р. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук «ЕКОЛОГО – БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИДІВ РОДУ *PICEA* A. DIETR. В УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ М. КРИВИЙ РІГ» в рамках держбюджетної теми № 0114U000686 «Екосистемологічні основи забезпечення сталого розвитку земель індустріального регіону» впроваджені у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті на кафедрі екології.

Вид впроваджених результатів: порівняльний аналіз рослин двох видів роду *Picea* A. Dietr. у насадженнях з різним рівнем аеротехногенного впливу та оцінка перспективи їх використання в урботехногенному середовищі.

Характеристика масштабу впровадження: одноразове.

Новизна результатів впровадження: якісно нові.

Форма впровадження: результати впроваджені у навчальний та науковий процес на кафедрі екології факультету водогосподарської інженерії та екології Дніпровського державного аграрно-економічного університету при викладанні лекцій з дисциплін «Урбоекологія», «Агроекологія», «Біогеоценологія та охорона навколишнього середовища», а також під час виконання наукової роботи викладачами та студентами.

Завідувач кафедри
 д.б.н., професор



В.І. Чорна



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50027, тел. (056) 409-06-06, факс (0564) 74-52-57
E-mail: knu@knu.edu.ua Кол СДРПОУ 37664469

від 05.10.20 № 271

На № _____ від _____

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
Федорчак Ельвіри Рафіківни
«Еколого-біологічні особливості видів роду *Picea* A. Dietr. в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг»
на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук
зі спеціальності 03.00.16 – Екологія

Матеріали дисертаційного дослідження Федорчак Ельвіри Рафіківни на тему: «Еколого-біологічні особливості видів роду *Picea* A. Dietr. в урботехногенних умовах м. Кривий Ріг» впроваджені у навчальний та науковий процес на кафедрі екології гірничо-металургійного факультету Криворізького національного університету при викладанні лекцій з курсів «Загальна екологія», «Урбоекологія», «Ландшафтна екологія» «Оптимізація земної поверхні», а також під час виконання наукової роботи викладачами та студентами.

В умовах степового Придніпров'я, а саме Кривого Рогу, встановлена залежність біометричних параметрів *P. abies* та *P. pungens* від різного рівня забруднення в насадженнях міста. Виявлено анатомо-морфологічні зміни хвої *P. abies* та *P. pungens* за умов різнорівневого забруднення. Простежено сезонну динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів в асиміляційному апараті рослин *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу. Проведено порівняльний аналіз морфометричних характеристик, якості пилку та визначено типи його аномалій у дерев *P. abies* та *P. pungens* в умовах урботехногенного середовища. Визначено насінневу продуктивність та якість насіння у *P. abies* та *P. pungens* в насадженнях із різним рівнем забруднення. Запропоновані рекомендації щодо використання обох видів ялин в оптимізації урботехногенного середовища промислового міста. Доведена можливість використання окремих еколого-біологічних показників рослин *P. abies* та *P. pungens* для індикації забрудненості середовища.

Апробація результатів дисертаційного дослідження Федорчак Е. Р. підтверджує їх теоретичну та практичну спрямованість і визначає доцільність подальшого впровадження в навчально-науковий процес закладів вищої освіти.

Завідувач кафедри екології

А.М. Бондаренко

Проректор з наукової роботи

В.С. Моркун

