

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Природничий факультет**  
**Кафедра ботаніки та екології**

«Допущено до захисту»

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

В.о. завідувача кафедри

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

\_\_\_\_\_ Е.О.Свтушенко

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023р.

**БІОІНДИКАЦІЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА РЕАКЦІЄЮ АСИМІЛЯЦІЙНОГО  
АПАРАТУ *PICEA ABIES* В ІНГУЛЕЦЬКОМУ РАЙОНІ М. КРИВИЙ РІГ**

Кваліфікаційна робота студентки  
групи ЕКО-19

ступінь вищої освіти **бакалавр**  
спеціальності 101 Екологія

**Бондаренко Ольги**  
**Владиславівна**

Керівник: кандидат біологічних наук,  
старший викладач  
Федорчак Ельвіра Рафіківна

Оцінка:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_\_

Голова ЕК \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Члени ЕК

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

## **ЗАПЕВНЕННЯ**

Я, Бондаренко Ольга Владиславівна, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і тестів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ</b> .....	3
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. БІОІНДИКАЦІЯ ЯК МЕТОД ЕКОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	6
1.1. Сутність методу біоіндикації в науковій літературі.....	6
1.2. Основні принципи біоіндикації.....	10
1.3. Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою хвойних рослин.....	14
Висновки до 1 розділу .....	18
<b>РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	19
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови регіону досліджень.....	19
2.2. Оцінка стану атмосферного повітря міста.....	22
2.3. Характеристика дослідних ділянок.....	26
2.4. Об’єкт і методи досліджень .....	27
Висновки до 2 розділу.....	29
<b>РОЗДІЛ 3. БІОІНДИКАЦІЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА РЕАКЦІЄЮ АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ <i>PICEA ABIES</i> В ІНГУЛЕЦЬКОМУ РАЙОНІ М. КРИВИЙ РІГ</b> .....	30
3.1. Морфометрична характеристика асиміляційного апарату <i>Picea abies</i> .....	30
3.2. Біоіндикація рівня забруднення за ступенем пошкодження хвої <i>Picea abie</i> .....	32
Висновки до 3 розділу.....	34
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	35
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	38

## ВСТУП

Долідження стану забруднення атмосферного повітря є важливим, оскільки забруднення повітря має серйозні наслідки для здоров'я людей, тварин і рослин, а також для екосистем і клімату. Біоіндикація рівня забруднення є одним із найважливіших методів вивчення стану довкілля. Вона базується на використанні живих організмів, які відрізняються за чутливістю до забруднюючих речовин. У цьому контексті важливим об'єктом дослідження є рослини, зокрема хвойні [16].

Рослини-індикатори можуть виявляти різні рівні забруднення повітря на ранній стадії та можливо оцінити загальний екологічний стан міського середовища. Дерев зазнають певних анатомічних і морфологічних змін під впливом різних токсичних речовин [16].

У даному випадку розглядається можливість використання хвойних дерев як біоіндикаторів забруднення повітря в Інгульському районі міста Кривого Рогу так як цей вид є дуже чутливою до забруднення повітря та здатна накопичувати в собі токсичні речовини протягом років, у порівнянні з листяними рослинами, які щороку оновлюють листя.

Використання біоіндикації для дослідження реакції асиміляційного апарату *Picea abies* (L.) Karst. на забруднення повітря може допомогти вивчити ефективність заходів, що вживаються для зменшення забруднення, а також виявити нові джерела забруднення, які можуть бути причиною погіршення стану асиміляційного апарату. Дослідження також може бути важливим для прийняття рішень у відношенні впливу промислових підприємств на екосистему та здоров'я людей, що проживають в районі. Крім того, результати дослідження можуть використовуватись для моніторингу стану довкілля та вивчення тенденцій забруднення повітря в регіоні на протязі тривалого періоду.

**Мета:** оцінити рівень забруднення за допомогою реакції асиміляційного апарату *Picea abies*.

У відповідності з метою нами поставлені такі **завдання**:

1. Проаналізувати сутність методу біоіндикації в науковій літературі;
2. Охарактеризувати основні принципи біоіндикації;
3. З'ясувати біоіндикаційні можливості використання асиміляційного апарату хвойних рослин;
4. Описати ґрунтово-кліматичні умови регіону досліджень;
5. Надати оцінку стану атмосферного повітря міста;
6. Охарактеризувати дослідні ділянки
7. Проаналізувати зміни морфометричних показників асиміляційного апарату *Picea abies*;
8. Оцінити рівень забруднення за ступенем пошкодження хвої *Picea abies*.

**Об'єкт** дослідження: асиміляційний апарат *Picea abies*.

**Предмет** дослідження: використання морфометричних показників асиміляційного апарату *Picea abies* для біоіндикації рівня забруднення.

В ході виконання роботи були використані такі **методи** дослідження:

- теоретичні: гіпотетичний метод, системний, узагальнення;
- загально-логічні: аналіз, синтез, індукція і дедукція;
- практичні: польові, лабораторні.

**Практичне значення.** Отримані результати дослідження можна використовувати для виявлення екологічної оцінки атмосферного повітря Кривого Рогу.

**Структура роботи:** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури. Робота викладена на 42 сторінок, ілюстрована 6 рисунками, 4 таблицями. Перелік використаних джерел складається з 48 найменувань.

## РОЗДІЛ 1. БІОІНДИКАЦІЯ ЯК МЕТОД ЕКОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Сутність методу біоіндикації в науковій літературі

У поєднанні з глибокою модифікацією навколишнього природного середовища під впливом людини, що досягла планетарних масштабів, з інтенсивністю та швидкістю, що випереджає вплив природних факторів, загострюється та стає актуальною проблема охорони всієї екосистеми та біосфери [3].

Ідентифікація біологічно значущих антропогенних навантажень з точки зору живих організмів і реакцій їх угруповань на них пов'язана з біологічними індикаторами. Значення рослинного покриву як індикатора стану екосистеми полягає в тому, що він дуже чутливий до змін факторів середовища. Дуже важливо, що він відображає емерджентний характер змін властивостей екосистем залежно від рівня їх організації. Емерджентність – це поява, виникнення чогось нового в теорії систем – у будь-якій системі існують особливі властивості, не притаманні її підсистемам і блокам, а також сумаційні зв'язки елементів, які не утворюють зв'язків через систему; неможливо звести властивості системи до суми властивостей її компонентів. Ці ознаки визначають придатність біологічних індикаторів для екологічних досліджень, експертизи та прогнозування поведінки, стану та розвитку екосистем [3].

Міська екосистема найбільше зазнає впливу господарської діяльності людини. Тому дуже важливо своєчасно відстежувати стан навколишнього середовища та аналізувати забруднення міських територій. Певною мірою ці проблеми можна вирішити за допомогою біоіндикаційних оцінок. Системи моніторингу, засновані на дослідженнях поведінки рослин і тварин, дозволяють оцінити біологічні наслідки забруднення повітря, їх просторовий розподіл і можливе накопичення на великих територіях. У деяких видів рослин

змінюються особливості розвитку (швидкість росту, процес цвітіння, формування плодів, інтенсивність забарвлення та інше) у відповідь на різні подразники. Ці властивості людство помітило уже давно і використовувало для практичних потреб. У зв'язку з загальною екологізацією різних наукових напрямів, людського мислення загалом методи біоіндикації усе частіше використовують сучасні науковці, зокрема і в моніторингу навколишнього середовища [1].

Загалом, біоіндикація – це оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин тощо) [6]. Цей метод дедалі поширюється, оскільки рослини – індикатори мають ряд переваг (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Переваги рослин-індикаторів

Біологічні індикатори використовуються в екологічних дослідженнях як метод виявлення антропогенного навантаження на біоми. Біологічно-індикаторний підхід заснований на вивченні впливу змінних факторів зовнішнього середовища на різні властивості біологічних об'єктів і систем. В якості біологічного індикатора обирають біологічну систему або організм, найбільш чутливий до досліджуваних факторів. Зміни в поведінці випробуваного оцінюють порівняно з контрольною ситуацією, яка є еталоном. Наприклад, спостереження за поведінкою дафній, молюсків і деяких риб використовують як біологічні індикатори при оцінці екологічного стану поверхневих вод [3].

Багато рослин-індикаторів реагують на підвищення або зниження концентрації мікро- і макроелементів у ґрунті. Це явище використовується для початкової оцінки ґрунтів і визначення можливих місць розвідки корисних копалин. Живі індикатори не повинні бути занадто чутливими і стійкими до забруднення. Вони повинні мати досить тривалий термін служби. Важливо, що такі організми широко поширені по всій планеті, і кожен вид повинен бути пов'язаний з певним місцем розташування.

Біологічні індикатори мають багато переваг перед інструментальними методами. Він ефективний, не вимагає значних витрат і дає можливість описувати стан навколишнього середовища протягом тривалих періодів часу. Фактори навколишнього середовища дуже чітко визначають, які організми можуть, а які не можуть жити в даному місці. Враховуючи це, ми можемо використовувати зворотні моделі, щоб судити про фізичне середовище організму, який живе в ньому. Так виникають екологічні біоіндикаційні методи, які особливо широко застосовуються в лісовій типології, флорі, а також за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) або грибів (мікоіндикація) [20].

Таким чином, біологічний індикатор - це група особин одного виду або популяції, наявність, чисельність або інтенсивність розвитку яких в тому чи



іншому середовищі є індикатором якогось природного процесу або зовнішніх умов середовища. Біологічні індикатори зараз широко використовують для оцінки забруднення навколишнього середовища шляхом вилучення видів нижчих і вищих рослин, а також представників фауни, стійких до забруднювачів своєї природної ніші [21].

Біологічні індикатори – це живі організми, наявність або інтенсивний розвиток яких є показником природних процесів або умов середовища. Таким чином, концентрація рибоїдних птахів є біологічним показником того, де водиться риба, а улов риби можна передбачити за складом планктону. За складом водної флори і фауни можна визначити придатність питної води та з'ясувати ефективність очисних споруд [21]. За допомогою рослин-індикаторів і мікроорганізмів можна зробити загальну оцінку якості ґрунту. Тварини, рослини та мікроорганізми використовуються як біологічні індикатори в космічних дослідженнях для з'ясування впливу космічних факторів на живі організми.

Під впливом забруднення навколишнього середовища змінюються еколого-фізіологічні характеристики: пігментація, забарвлення рослин. Вони викликані надлишком токсичних солей або нестачею поживних речовин у ґрунті. Біологічні індикатори мають певні переваги як метод отримання безпосередньої інформації про зміни стану біоти за конкретних умов забруднення, але їх необхідно поєднувати з хімічними та геофізичними експериментами для отримання не тільки якісної, а й кількісної інформації [25].

Тому використання індикаторних можливостей біологічних об'єктів стає все більш актуальним у поєднанні з необхідністю глобального спостереження. Рослини-індикатори можна використовувати як для виявлення окремих забруднюючих речовин, так і для моніторингу загального стану навколишнього середовища.

## 1.2. Основні принципи біоіндикації

Усі біологічні системи – організми, популяції та біоми – під час свого розвитку пристосовуються до складності певної території. Вони займають певну територію в біосфері, екологічну нішу, в якій знаходять оптимальні умови для виживання і де можуть нормально харчуватися і розмножуватися. Кожен організм має генетично детермінований, філогенетично набутий унікальний діапазон фізіологічної толерантності до кожного чинника, що на нього діє, у межах якого цей фактор йому підходить. Якщо чинник характеризується надто низькою або надто високою силою, але ще не є смертельним, організм перебуває в стані фізіологічного песимізму. В області дослідження сили чинників, особливо сприятливих для конкретної особини, організм існує в фізіологічно оптимальних умовах.

Існують різні форми біологічних індикаторів. Якщо дві однакові реакції викликані різними факторами, то ми їх називаємо неспецифічними біологічними індикаторами. Якщо якась зміна може бути пов'язана тільки з одним фактором, то це специфічний біологічний індикатор. Біоіндикатор є чутливим, якщо він реагує зі значними відхиленнями від норми життєвих показників [30].

Накопичена біометрія акумулює дії без швидкого прояву порушень. Такі значні накопичення забруднення поступово перевищують нормальний рівень, найчастіше на рівні екофізіологічних або біомних процесів. У природі всі види біологічних індикаторів беруть участь у ряді реакцій і процесів, що відбуваються безперервно. Якщо антропогенний фактор діє безпосередньо на біологічний елемент, то мова йде про прямий біологічний індикатор. Але зазвичай біологічний індикатор можливий лише після зміни стану під впливом інших безпосередньо пов'язаних елементів. У цьому випадку ми маємо справу з непрямыми біологічними індикаторами.

Часто необхідно заздалегідь виявити біологічну дію антропогенного фактору, щоб на нього можна було впливати за відомих умов. Присутність

дуже чутливих біоіндикаторів приводить до ранньої індикації, коли реакція проявляється при мінімальних дозах за короткий проміжок часу і проходить за короткий проміжок часу і проходить у місці дії фактору на елементарні молекулярні і біохімічні процеси [33].

В залежності від часу розвитку біоіндикаційних реакцій можна виділити шість різних типів чутливості (табл. 1.1).

*Таблиця 1.1*

Типи чутливості біоіндикаторів

№	Тип	Характеристика
1	I тип	Біоіндикатор дає через певний час, на протязі якого він ніяк не відповідає на дію (відсутність ефективного рівня), одноразову сильну реакцію і втрачає чутливість (вище верхнього ефективного рівня).
2	II тип	Як і в першому випадку, реакція миттєва і сильна, але продовжується деякий час після чого різко зникає.
3	III тип	Біоіндикатор реагує з моменту виявлення порушеної дії з однаковою інтенсивністю на протязі довгого проміжку часу.
4	IV тип	Після миттєвої сильної реакції спостерігається її припинення, спочатку швидке, потім більш повільне.
5	V тип	При появі порушеної дії починається реакція, яка стає все більш інтенсивною, поки не досягне максимуму, а потім поступово припиняється.
6	VI тип	Реакція V-го типу багаторазово повторюється; виникає осциляція біоіндикаторних параметрів.

Біологічні індикатори можна використовувати на різних рівнях біологічної організації (макромолекули, клітини, органи, організми, популяції, біоми). З підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їхня складність, оскільки водночас їхній зв'язок із факторами розташування стає дедалі складнішим. При цьому біологічні індикатори нижчого рівня діалектично містяться в біологічних індикаторах вищого рівня, діючи на них з новою здатністю. Якщо на нижчих рівнях організації біологічної системи переважають прямі та більш поширені специфічні типи біологічних індикаторів, то на вищих – непрямі біологічні індикатори [32].

Через складність біологічних систем зазвичай можуть бути лише неспецифічні біологічні індикатори. Однак саме тут відкривається підхід до визначення ролі комплексних навантажень і, таким чином, оцінки допустимих навантажень складних екосистем. Іноді біологічні індикатори, які легко використовувати на нижчих рівнях організації, стають настільки складними в більш складних системах, що стає неможливим розрізнити вплив одного фактора. З іншого боку, біоіндикатори, виявлені на найвищому організаційному рівні, були пов'язані з відповідними змінами на попередніх рівнях. Цю закономірність слід враховувати при пошуку ранніх біологічних індикацій. Відповіді екосистем на стресові впливи часто сповільнені та сильно змінені порівняно з окремими організмами.

Залежно від рівня організації біологічної системи можуть бути встановлені різні рівні біологічних показників (табл. 1.2).

Для біоіндикації властиві в основному два методи – пасивний і активний моніторинг. В першому випадку у вільно живучих організмів вивчаються видимі або невидимі пошкодження чи відхилення від норми, які є ознаками стресового впливу. При активному моніторингу виявляють ті ж самі впливи на тест-організмах, які знаходяться в стандартних умовах на досліджуваній території.

Таблиця 1.2

## Рівні біоіндикації

№	Рівень	Приклад
1	1-й рівень	біохімічні і фізіологічні реакції.
2	2-й рівень	анатомічні, морфологічні, біоритмічні і поведінкові відхилення.
3	3-й рівень	флористичні і фауністичні зміни
4	4-й рівень	ценотичні зміни
5	5-й рівень	біогеоценотичні зміни
6	6-й рівень	зміна ландшафтів

За І. В. Агуровою (2014) при біоіндикації слід враховувати чотири основні вимоги [1]:

- 1) Відносна швидкість проведення;
- 2) Одержання достатньо точних і відтворених результатів;
- 3) Присутність об'єктів, які застосовується в біоіндикації, по можливості в великій кількості і з однорідними властивостями;
- 4) Діапазон похибки в порівнянні з іншими методами тестування не більше 20 %.

Проведений аналіз наукової літератури показав актуальність використання біологічного методу екологічного моніторингу, а саме біоіндикації для проведення екологічних досліджень техногенного середовища.

### 1.3. Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою хвойних рослин

Рослини, як правило, мають високу чутливість до впливу певних забруднюючих речовин, їх можна використовувати як індикатори для визначення ступеня забруднення та моніторингу умов забруднення повітря. Якщо рослини здатні накопичувати забруднюючі речовини, не змінюючи свій хімічний склад через метаболічні процеси, і якщо накопичені речовини можна легко ідентифікувати у зразках рослин, то ці види рослин можна використовувати як накопичувачі забруднення. Якщо накопичення речовин рослинами можна розглядати як прояв наслідків забруднення, то використання рослин є надзвичайно зручним для визначення рівня та складу забруднення та для моніторингу наслідків впливу забруднюючих речовин [14].

Для такого моніторингу надзвичайно важливо дотримуватися наступних умов (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Умови біомоніторингу забрудненого середовища

З вищенаведеного (рис. 1.2) до таких рослин можна віднести хвойні дерева, які широко використовуються в міському та заміському озелененні. Особлива біоіндикаційна цінність хвойних рослин полягає в тому, що вони можуть слугувати індикаторами протягом року (А. Лисиця, 2018). А також вони дуже чутливі до техногенних забруднювачів завдяки своїм анатомо-фізіологічним особливостям [14].

Хвойні виступають індикаторами різноманітних забруднювачів і тому використовуються в біоіндикаційних дослідженнях на території різних регіонів, що дозволяє отримувати інформацію про екологічний стан урбоекосистем. Ряд авторів (Кейван, Тертична та ін. 2012; Fedorchak, 2020) встановили, що викиди промислових підприємств та високий рівень автотранспортного руху негативно впливають на асиміляційний апарат хвойних рослин. Вплив аерополітантів призводить до погіршення морфологічних характеристик хвої: зменшується вік хвої та її маса, відбуваються візуальні ознаки пошкодження хвої, зменшується приріст пагонів. Все це з часом призводить до зміни форми та розмірів крони, що супроводжується зниженням декоративності хвойних дерев [14].

Інші дослідники В. В. Никифоров, С. В. Дігтяр (2016) встановили, що наслідки хронічних впливів включають уповільнення або припинення нормального росту та розвитку рослини, особливо внаслідок зменшення біомаси, хлорозу та некрозу кінчиків хвої; повільне в'янення рослини або її органів. Іноді прояви хронічних або гострих ефектів можуть бути специфічними для окремих забруднювачів або їх комбінацій [21].

Хвойні рослини чутливі до зовнішніх умов. При досить високих концентраціях забруднюючих речовин хвоя багатьох рослин може бути пошкоджена, а в міру збільшення факторів забруднення протягом короткого періоду часу рослинам може бути завдано значної шкоди. Хвоя змінює колір із металево-сірого на коричневий через некроз (омертвіння тканин) і може

втратити колір або вигоріти під час старіння. Хронічне ураження рослин також може бути викликане тривалою дією низьких концентрацій певних речовин.

Ознаки хронічного пошкодження включають бронзове листя, хлороз (знебарвлення) і передчасне старіння. Відомо, що організми рослин здатні поглинати особливо великі кількості певних забруднюючих речовин, тобто процеси накопичення або концентрації відбуваються на них сильніше, ніж у навколишньому середовищі. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується хвоя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактору протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини. Забруднення навколишнього середовища сполуками може призвести до часткової деградації рослинності, зниження її біомаси та природоохоронних функцій [27].

В. О. Слободян стверджує, що важливе значення має біомоніторинг забруднення повітря хвойними породами. Хвойні чутливі до кислотних дощів, атмосферних газів і важких металів. Під впливом великих доз забруднюючих речовин у хвойних дерев знижується ріст та розвиток, з'являються хлороз та некроз хвої. Якщо на половині або більше хвойних дерев були помітні плями, половина або третина яких були сухими в досліджуваних зразках, це свідчить про те, що умови перебування дерев були несприятливими. Також в забруднених районах хвоя зберігається на дереві 1-3 роки до опадання, а в чистих місцях сосна – 3-4 роки, ялина – 6-12 років [25].

Лише порівнюючи зразки хвойних з різних місць, можна зробити висновки про забруднення навколишнього середовища на основі стану хвойних порід, схожих за кліматичними та ґрунтовими умовами (температура, опади, вологість ґрунту, освітленість), але різних за інтенсивністю впливу техногенних факторів. Найбільш токсичними сполуками в повітрі для рослин є: пил, хлор, сірчистий газ, діоксид сірки, оксид вуглецю та оксид азоту [24].

Рослини реагують на високу концентрацію сірчаного газу коричнево-жовтими опіками на хвої, зміною кольору хвої, зниженням росту та



продуктивності, а тривалий вплив значно прискорює старіння. Ялини, ялиці та сосни чутливі до цього газу та кислотних дощів. Хвоя сосни буріє від надлишку сірки, а у ялини швидше осипається [24]. На підвищений вміст аміаку хвойні дерева реагують підсиханням хвої, що з часом може призвести до гибелі рослин. Хвойні швидко реагують і на наявність незначної кількості сполук хлору у повітрі.

Індикаторами вмісту сполук фтору у повітрі є сосна, ялина тощо. Частіше реакція починається з відмирання кінчиків голок, яке переходить згодом на всю голку. У завезеної з Америки в Україну сосни Веймутова (*Pinus strobus L.*) при дії озону і сірчистого газу розвивається синдром карликовості [22].

Отже, хвойні виступають індикаторами різноманітних забруднювачів і тому використовуються в біоіндикаційних дослідженнях на території різних регіонів, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про екологічний стан урбоєкосистем.

### **Висновки до 1 розділу**

Підводячи підсумки теоретичного аналізу проблеми дослідження, можемо ствержувати про те, що біоіндикація – це частина системи моніторингу стану навколишнього середовища певної території – від ділянки суші чи води до цілого континенту – для раціонального використання природних ресурсів і збереження природи. Біоіндикація включає моніторинг стану навколишнього середовища та сприяючих факторів, а також прогнозування змін у навколишньому середовищі та оцінку його майбутнього стану, її об'єктами є рослини та їх угруповання.

Біоіндикація забруднення атмосфери за допомогою хвойних рослин є одним з методів визначення рівня забруднення повітря. Цей метод ґрунтується на спостереженні за змінами у стані хвойних дерев і кущів під впливом забруднення повітря.

Саме хвойні рослини є чутливими до забруднення повітря, оскільки їх хвоя швидко реагує на наявність в повітрі навіть незначної кількості токсичних речовин. Крім того, хвойні дерева здатні накопичувати забруднюючі речовини протягом років, у порівнянні з листяними рослинами, які щороку оновлюють листя.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Ґрунтово-кліматичні умови регіону досліджень

Досліджувана територія міста Кривий Ріг розташована на Східноєвропейській полігенній рівнині, яка виникла завдяки великій тектонічній структурі – Східноєвропейській платформі. Північна частина Кривого Рогу належить до Дніпровсько-Приазовської геоморфологічної зони фундаментально-денудованих височин, Центрально-Придніпровської денудованої височини, а її нижня частина – Інгуло-Інгулецької лесової акумуляції роздроблених рівнин і є частиною Північно-Причорноморської рівнини стратиграфічно-денудаційної рівнини Чорного моря [33].

Територія дослідження належить до степової смуги України, а її північностепова підзона – до схилово-високогірної території північностепової області Придністровсько-Дніпропетровської області. На півночі висота поступово переходить у Причорноморську низовину. На півночі та сході області – низовини Дніпра, а на крайньому південному сході – притоки Приазовської височини. Територія Кривого Рогу розчленована глибокими річковими долинами, канавами та ярами. Відповідно до географічної флори України, територія Криворізького залізорудного басейну належить до Євразійської степової області, Понтійсько-степової провінції, Причорноморсько-Азовської підпровінції, Бузько-Дніпровського (Криворізького) злаково-злакового степу [33].

Кривий Ріг належить до вологих і теплих областей атлантико-континентальної європейської помірної кліматичної зони. Річний сумарний показник сонячної радіації становить 107-110 ккал/см, а радіаційний баланс 46-49 ккал/см. Середнє альbedo (здатність поверхні відбивати сонячні промені) у Кривому Розі досить високе влітку (30%) і низьке взимку (35%). Клімат Кліффа Бата формують 43 циклони і 24-43 антициклони. На

антициклональну циркуляцію атмосфери припадає 2/3 загальної кількості днів у році [34].

Найбільш сонячними місяцями в році є липень-серпень, коли сонячне сяйво 280-310 годин на місяць, мінімум (30-40 годин) припадає на грудень. Середня температура найтеплішого місяця (липень) становить близько 21°C. Сума активних температур атмосфери вище +10°C (ці температури найбільш сприятливі і продуктивні для вегетації рослин) становить 3100°C. Безморозний період 175 днів. Середня дата перших і останніх заморозків навесні – 24 квітня, а восени – 9 жовтня. Середня дата настання триваючих морозів 10-15 грудня, закінчення 16-21 лютого.

Опадів випадає близько 250 мм за вегетаційний період і 400-460 мм за рік. За середньобагаторічними даними по Дніпропетровській області найбільш сухими місяцями є липень-серпень. Кривий Ріг має середню випаровуваність 740 мм, середній коефіцієнт зволоження 0,54 [33]. Наведені вище дані свідчать про те, що регіон є дефіцитним і нестабільним.

Загальна тривалість опадів за рік становить 730 годин. За останні 60 років посухи траплялися кожні 3-4 роки протягом десятиліття. Сильні посухи в Криворіжжі бувають кожні 5-10 років, при цьому за вегетаційний період випадає лише 100-150 мм опадів. Середня швидкість випаровування становить 325 мм на рік, а евапотранспірація (кількість води, яка може випаруватися за певних кліматичних умов) – 800 мм на рік. Коефіцієнт зволоження становить 0,53, що свідчить про маловодність і нестійкість території.

Влітку водний баланс характеризується недоліками. Дощ у теплу пору року переважно у вигляді злив, в середньому 29 днів із зливами. Взимку утворюється стійкий сніговий покрив. Середня декадна висота снігового покриву 10-15 см, середня тривалість періоду снігового покриву 65 днів. Взимку буває 26 днів, коли температура опускається нижче -10°C. По всьому місту склався мікроклімат «острів тепла». У містах було тепліше на 1,8°C. Особливо це помітно в холодну пору року. Взимку випадає багато опадів і

туманів, причому смог утворюється переважно низькою хмарністю та пиловими газами, що викидаються підприємствами та автомобілями.

Понад 50% площі території Кривого Рогу займають різні підтипи чорноземів, що характеризуються утворенням гумусованих, темно-сірих, глинистих шаруватих суглинків потужністю до 45 см на лесах. Агрохімічні показники ґрунту: рН водної витяжки на глибині 0-10 см 7,0-7,2; поглинальна здатність 36,4-37,1 мг-екв/100 г ґрунту; загальна пористість 54,8-56,2 %; насиченість основами 97,1-98,7. Загальний вміст гумусу – 3,6-4,6%  $K_2O$  - 1,8-1,9%. Загальний вміст азоту – 0,18-0,25% [34]. Проте на промислових майданчиках підприємств ґрунти переважно видозмінені діяльністю людини і можуть бути віднесені до сектору штучних ґрунтів із відповідним профілем антропогенно-штучних типів. На даних ділянках збереглася природна рослинність, представлена на крайньому південному заході різноманітним різнотрав'ям та чагарниками, що ростуть на вододілах, схилах струмків, ущелинах та річкових долинах. Схили, барикади та кроквяні ландшафти становлять 10-20% території району. Є також лісові масиви, які займають 3,5 % площі території області.

Отже, рослинний покрив Криворіжжя сформувався внаслідок складної взаємодії кліматичних зональних факторів, специфічних гірських порід та різноманітних антропогенних впливів. Флора Криворіжжя нараховує 1072 види, що належать до 480 родів та 109 родин. На території Криворіжжя розвинуті кілька генетичних типів природного морфоскульптурного рельєфу – флювіальний, суфозійний, гравітаційний, еоловий. Рельєф, в основному, представлений мезо- та мікроформами. У зв'язку з розробками родовищ залізних руд та інших корисних копалин, формується новий антропогенний рельєф. Для території Криворізького регіону характерна направленість ландшафтогенеза за степовим типом, починаючи з дофінського часу плейстоцену.

## 2.2. Оцінка стану атмосферного повітря міста

У структурі промисловості Дніпропетровської області домінує важка промисловість. Промислова концентрація області втричі перевищує загальнодержавний рівень, кількість металургійних підприємств у сім разів перевищує середній по Україні, а хімічна та нафтохімічна промисловість, машинобудування та металообробка перевищують середньоукраїнські показники [18].

Тобто металургійна продукція та готові металеві вироби, видобуток корисних копалин та виробництво та розподілення електроенергії, газу та води займають понад три чверті регіональної структури обороту промислової діяльності. Таке позиціонування галузі призвело до специфічного спектру забруднюючих речовин у викидах в повітря. Викиди забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення Дніпропетровської області за останні два роки зменшилися на 136 тис. тонн [18].

Прагнення зменшити викиди забруднюючих речовин в атмосферу пов'язане з поточною економічною кризою. За статистичними даними управління екології міської ради, в місті налічується близько 3600 джерел забруднення атмосферного повітря, з них 2700 організованих. Близько 7% загальних викидів в атмосферу припадає на викиди автотранспорту. Масові вибухи в кар'єрах, хвостосховищах, відкритих рудосховищах, бортах кар'єрів і відвалах породи також є необмеженими джерелами забруднення атмосферного повітря.

Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря міста Кривий Ріг є: озон, оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, пил фенол та формальдегід. На зміни концентрації різноманітних домішок у атмосфері чуйно реагують рослини, що проявляється спочатку на фізіологічному рівні, а потім зміни відбуваються на морфологічних показниках асиміляційного апарату рослин.

Таблиця 2.1

## Основні забруднюючі речовини атмосферного повітря м. Кривий Ріг

№	Речовина	Характеристика	Роки			
			Норма	2020	2021	2022
1	Озон	Озон – газоподібна забруднююча речовина, яка утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон потрапляє в рослину через асиміляційний апарат внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім середовищем [30].	0,013 мг/м <sup>3</sup>	0,016 мг/м <sup>3</sup>	0,017 мг/м <sup>3</sup>	0,016 мг/м <sup>3</sup>
2	Оксиди азоту	Оксиди азоту – газоподібні забруднюючі токсичні сполуки NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O. Низькі концентрації NO <sub>2</sub> стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Негативний вплив NO <sub>2</sub> може бути схожим з гострою дією на рослини SO <sub>2</sub> [31; 32].	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,04 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>
3	Оксид вуглецю	Оксид вуглецю або чадний газ - найбільш поширений безбарвний газ, що не має запаху, тому він особливо небезпечний, бо його не можна відчутти. Шкідливий як для людей, так і для рослин. У останньому випадку пригнічує процес транспірації.	3,0 мг/м <sup>3</sup>	3,0 мг/м <sup>3</sup>	3,0 мг/м <sup>3</sup>	3,0 мг/м <sup>3</sup>
4	Діоксид сірки	Діоксид сірки – забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) і деякі промислові підприємства. Ознакою хронічної дії SO <sub>2</sub> є хлороз, або знебарвлення листя із зміною їх кольору до червоно-бурого; у хвойних рослин – почервоніння голок зверху вниз.	0,016 мг/м <sup>3</sup>	0,021 мг/м <sup>3</sup>	0,022 мг/м <sup>3</sup>	0,017 мг/м <sup>3</sup>

Продовження табл. 2.1

5	Пил	Пил, який містить важкі метали, такі як свинець, кадмій та мідь, може погіршувати стан рослин. Крім того, пил може блокувати сонячне світло, яке необхідне для фотосинтезу рослин, та заважати диханню рослин. Це може призвести до зменшення росту та розвитку рослин, а також зниження їх життєздатності.	0,02 мг/м <sup>3</sup>	0,04 мг/м <sup>3</sup>	0,04 мг/м <sup>3</sup>	0,02 мг/м <sup>3</sup>
6	Фенол	Викиди фенолу можуть знизити ріст рослин шляхом зниження активності клітинних процесів, таких як фотосинтез і дихання. Фенол може спричинити висихання та загоряння листків рослин, що може призвести до їх відмирання. Фенол може змінити колір листя рослин, що може бути ознакою хвороби або стресу. Фенол може заважати фотосинтезу рослин, зменшуючи їхню здатність до вироблення енергії з сонячної світлової енергії.	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,02 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>
7	Формальдегід	Формальдегід є досить токсичною речовиною для рослин. Високі концентрації формальдегіду можуть пошкодити рослини, знизити їх ріст і виробництво хлорофілу. Формальдегід може зупинити розвиток кореневої системи рослин, що може призвести до зниження їх здатності поглинати воду та поживні речовини. Формальдегід може впливати на фотосинтетичні процеси рослин, що може призвести до зниження їх виробництва глюкози та інших необхідних речовин.	0,02 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,03 мг/м <sup>3</sup>	0,02 мг/м <sup>3</sup>



Характерним для локального забруднення атмосфери міста є те, що забруднюючі речовини збираються в районах найбільшої концентрації різноманітних виробничих підприємств. Варто зазначити, що 5 підприємств великих промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу міста потрапили до переліку шкідливих речовин Дніпропетровської області (рис. 2.1.).

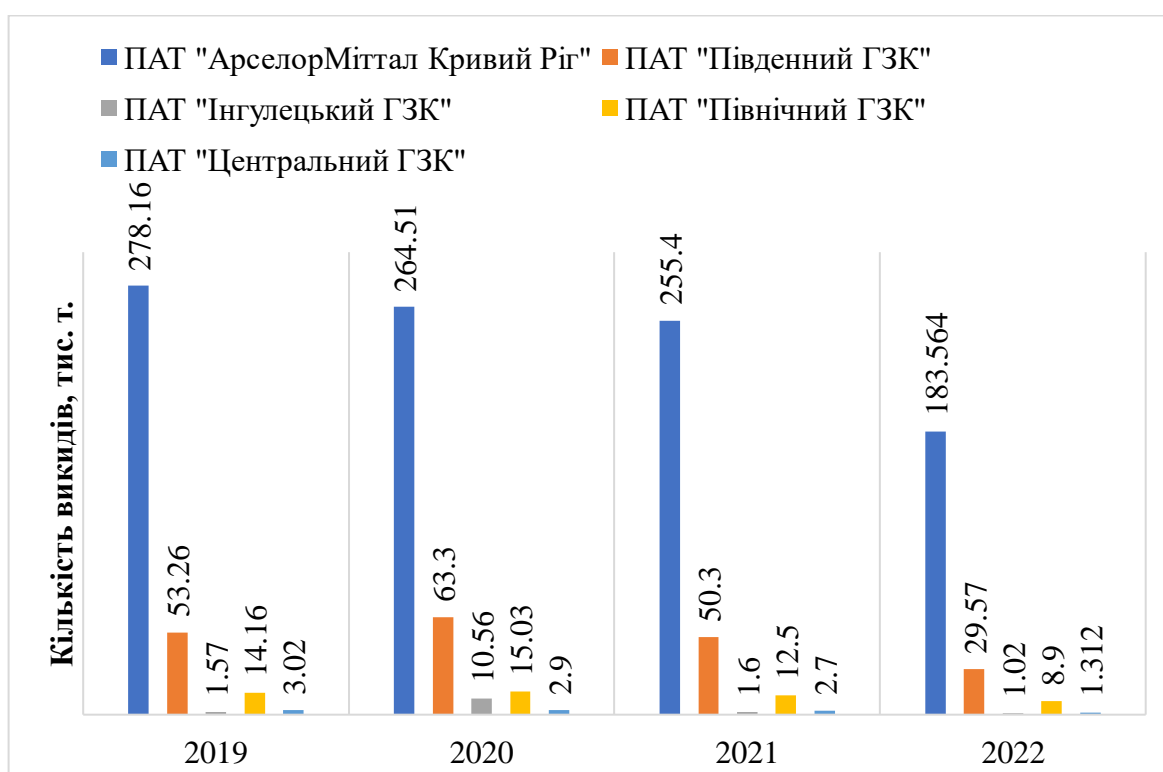


Рис. 2.1. Кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря основними підприємствами міста

Аналіз викидів в атмосферу свідчить про систематичне перевищення гранично допустимих концентрацій: озону, оксиду азоту, пилу, діоксиду сірки, фенолу та формальдегіду [9]. Однією з можливих причин зменшення забруднення повітря в Кривому Розі в 2022 році може бути прийняття державних та місцевих заходів для зменшення викидів шкідливих речовин у повітря.

Також це може бути пов'язано зі зменшенням промислової діяльності та зменшенням кількості транспорту через карантинні заходи, пов'язані з

пандемією COVID-19. Отже, зменшення забруднення повітря в Кривому Розі може бути результатом комплексу заходів, що включають як прийняття державних та місцевих заходів, так і зміни у структурі енергетичного сектора та інших галузях промисловості.

### 2.3. Характеристика дослідних ділянок

Дослідження проводились на трьох дослідних ділянках в Інгулецькому районі м. Кривий Ріг в зонах дії викидів Південного гірничо-збагачувального комбінату (дослідна ділянка №3 – ПівдГЗК), викидів вихлопних газів автотранспорту по проспекту Південний (дослідна ділянка №2) та біля міської лікарні № 11 (дослідна ділянка №1). Остання слугувала умовним контролем.

Дослідна ділянка № 1 біля міської лікарні № 11 (зона низького рівня забруднення) розташована в спальному районі на окраїні Інгулецького району м. Кривий Ріг. Насадження *Picea abies* від промисловивого підприємства ПівдГЗКа знаходяться на відстані більш ніж 2 км. Рельєф місцевості рівнинний. Досліджені насадження *Picea abies* представлені переважно поодинокими, алейними та груповими типами посадками. Поблизу міської лікарні № 11 знаходиться стакок та пляж ПівдГЗКа, а також в межах 300 м розташований дитячий майданчик та стадіон. Стан дерев гарний.

Дослідна ділянка № 2 по проспекту Південний (зона середнього рівня забруднення) розташована на території Інгулецького району м. Кривий Ріг. Рельєф місцевості рівнинний. Досліджені насадження представлені переважно алейними посадками із *Picea abies*, рідше зустрічаються поодинокі та групові типи посадки *Picea abies*. Дана ділянка характеризується двухстороннім та інтенсивним автотранспортним рухом. Очевидно, автомобільні викиди мають негативний вплив на рослини.

Дослідна ділянка № 3 біля Південно гірничо-збагачувального комбінату (зона високого рівня забруднення), що розташований на території Інгулецького району м. Кривий Ріг. Рельєф місцевості рівнинний. Досліджені

насадження представлені переважно поодинокими або алейними посадками із *Picea abies*. Поблизу підприємства також відмічається транспортна мережа. Тому біля ПівдГЗКа рослини знаходяться в пригніченому стані.

Таким чином, ділянки насаджень *Picea abies* на території Інгулецького району було поділено за різним рівнем забруднення: високий рівень – дослідна ділянка №3 біля ПівдГЗКа, середній рівень – дослідна ділянка №2 по проспекту Південний та низький рівень – дослідна ділянка №1 біля міської лікарня № 11, яка слугувала умовним контролем.

#### 2.4. Об'єкт і методи досліджень

Як модельний вид було обрано *Picea abies*, оскільки ці рослини є одними з найпоширеніших в урбанофлорі міста Кривий Ріг, в тому числі Інгулецького району. *Picea abies* – високе дерево (25-40 м) родини соснових (*Pinaceae*) з яскраво зеленою гостроконусоподібною або пірамідальною густою кроною. Кора сіра або червонувато-бура з дугоподібними вертикальними тріщинами або лусками (рис. 2.2.).



Рис. 2.2. Загальний вигляд рослин *Picea abies*

Молоді пагони зелені з загостреними буруватими бруньками. Хвоя розміщена почергово, шорстка, колюча, чотиригранна (1,3-2,5 см завдовжки), загострена, блискуча, тримається 5-6 (12) років. Кріпиться хвоя до спірально розташованих виростів кори – подушечках (1-1,5 мм завдовжки), які залишаються після опадання хвої, добре помітні на пагонах. Рослина однодомна. Запилюється у травні. Насіння досягає у рік запилення [20].

Чоловічі шишечки видовжено-циліндричні (20-25 мм завдовжки), червонуваті, розміщені на кінцях торішніх пагонів. Жіночі шишечки зеленуваті або малинові (10-15 мм завдовжки), циліндричні, розміщені на кінцях молодих гілочок. Стиглі шишки довгасто-циліндричні (10-15 см завдовжки), спочатку зелені або фіолетові, пізніше бурі, повислі, блискучі. Луски дерев'янисто-шкірясті, випуклі, широкі, обернено-яйцеподібні, по краю виїмчасті або зубчасті. Насіння яйцеподібної форми, з гострим носиком, матове, бурувате з світло-коричневим крилом.

Коренева система розташовується в верхніх горизонтах ґрунту, стрижневий корінь розвинений слабо, отже, ялина недостатньо стійка проти вітровалів.

Ялина добре розвивається на суглинистих і супіщаних, вологих ґрунтах. А також вона досить швидко росте в штучних насадженнях на чорноземах. До світла ялина не дуже вибаглива і вважається тіневитривалою породою, завдяки цьому ялина витісняє багато порід і займає їх місце [39].

Матеріалом для досліджень була двохрічна хвоя та пагони другого порядку дерев *Picea abies*, їх довжину вимірювали міліметровою лінійкою. Для досліджень відбирали зразки хвої по 100 шт з дерев *P. abies* на висоті 2 м від земної поверхні з кожної із трьох ділянок, а також на гілках вимірювали довжину пагонів другого порядку.

Некроз та хлороз хвої визначали за класифікацією E.J. Jäger [44].

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).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакету програм MS Excel, істотність різниць було визначено за t-критерієм Стьюдента [12].

### Висновки до 2 розділу

Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря м. Кривий Ріг є: озон, оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, пил, фенол та формальдегід. Більшість із цих сполук перевищують гранично допустимі концентрації шкідливих викидів в атмосферу. Очевидно, що надмірні викиди забруднюючих речовин призводять до змін функціонування рослинних організмів і в подальшому можуть негативно вплинути на життєвий стан рослин. Тому, проведення досліджень ступеня забрудненості атмосфери викидами промислових підприємств та викидами газів автотранспорту на території Криворіжжя є актуальними для оцінки стану урбосередовища.

Об'єктом дослідження обрано *Picea abies*, оскільки ці рослини є одними з найпоширеніших в урбанofлорі міста Кривий Ріг, в тому числі і в Інгулецькому районі. Дослідження проводились на моніторингових ділянках з різним рівнем забруднення: біля гірничо-збагачувального комбінату, біля дороги та біля міської лікарні №11.

Опрацювання аналітичних та практичних розділів проведено з використанням загальноприйнятих загальнонаукових методів емпіричного та теоретичного рівнів дослідження.

### РОЗДІЛ 3. БІОІНДИКАЦІЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА РЕАКЦІЮ АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ *PICEA ABIES* В ІНГУЛЕЦЬКОМУ РАЙОНІ М. КРИВИЙ РІГ

#### 3.1. Морфометрична характеристика асиміляційного апарату *Picea abies*

Ялина звичайна або ялина європейська (*Picea abies*), є хвойним деревом, ареалом зростання якої є північна частина Європи. Її асиміляційний апарат має багато різних структур, які допомагають дереву ефективно здійснювати фотосинтез та забезпечувати його життєдіяльність. Хвоїнки у *Picea abies* мають шилоподібну форму, вони короткі та густо розташовані на гілках, що забезпечує більш ефективну роботу фотосинтезу. Кількість на гілці може досягати 150-200 штук[5].

Дослідження морфометричних параметрів хвої *Picea abies* за умов різнорівневого забруднення є важливими аспектами екологічних досліджень. Найвищі середні показники довжини хвої *Picea abies* було відмічено в насадженнях біля Міської лікарні №11 (дослідна ділянка № 1), що становили 17,88 мм. При високому рівні забруднення на дослідній ділянці № 3 показники довжини хвої в середньому становлять 15,83 мм, що менше на 11,46 %, у порівнянні із довжиною хвої у дерев, що зростали на ділянці № 1 (табл. 3.1). Невеликі відмінності виявлено також у насаджень, які знаходяться на дослідній ділянці 2 по проспекту Південний, де середні показники довжини хвої складала – 16,79 мм, що на 6,09 % менше у порівнянні з контролем.

Забруднення повітря може впливати на ріст і розвиток рослин, зокрема на їх морфологічні параметри пагонів.

Максимальні середні значення розмірів пагонів другого порядку було відмічено на ділянці № 1 (7,12 см), а мінімальні – на ділянці № 3 (5,93 см).

На дослідній ділянці № 3 біля ПівдГЗКа показники довжини пагона зменшуються на 16,71 %, порівняно з контролем, а на дослідній ділянці № 2 значення були не достовірними у порівнянні з контролем.

Таблиця 3.1

Морфометричні параметри *Picea abies* за умов різнорівневого забруднення

№	Дослідні ділянки	Довжина хвої, мм	Довжина пагону, см	Кількість хвоїнок на 10 см пагона
1	Міська лікарня 11	17,88±0,32	7,12±0,14	146,20±4,65
2	Просп. Південний	16,79±0,40*	6,84±0,11	176,3±5,57*
3	ПівдГЗК	15,83±0,33*	5,93±0,16*	193,3±5,70*

Примітка: відмінності достовірні за *t*-критерієм Стьюдента: \* – при  $P < 0,05$ .  
 $M \pm m$  – середнє значення з помилкою.

При збільшенні техногенного впливу, зростає кількість хвоїнок на пагонах, що свідчить про адаптивну реакцію рослин на стрес. Так наприклад, кількість хвоїнок на 10 см на ділянці № 3 біля ПівдГЗКа та на ділянці №2 поблизу проспекту Південний складала 193,3 шт. та 176,3 шт., що на 32,21% та 20,58% відповідно більше у порівнянні з контролем, де кількість хвоїнок складала 146,20 шт. (табл. 3.1). Це може вказувати на більшу кількість забруднення, оскільки асиміляційний апарат дерева працює ефективніше при більшій кількості хвоїнок.

Згідно з даними, які були зібрані на ділянках біля Міської лікарні №11, по проспекту Південний та біля ПівдГЗКа, показники тривалості життя хвої на ділянці №1 найбільші - близько 4,9 років. Ймовірно, це сталося через те, що на ділянці №1 були найбільш сприятливі умови для хвойних рослин, що дозволило їм розвиватися краще. На ділянці №2 показник тривалості життя хвої менший - близько 4,6 років, що може бути пов'язано з менш сприятливими умовами для розвитку рослин. На ділянці №3 цей показник хвойних рослин складає близько 4,2 року, що є найменшим значенням серед трьох ділянок. Це свідчить про те, що на ділянці №3 необхідно зосередитися на захисті рослин від хвороб, щоб покращити їх життєвий стан (рис. 3.1.).

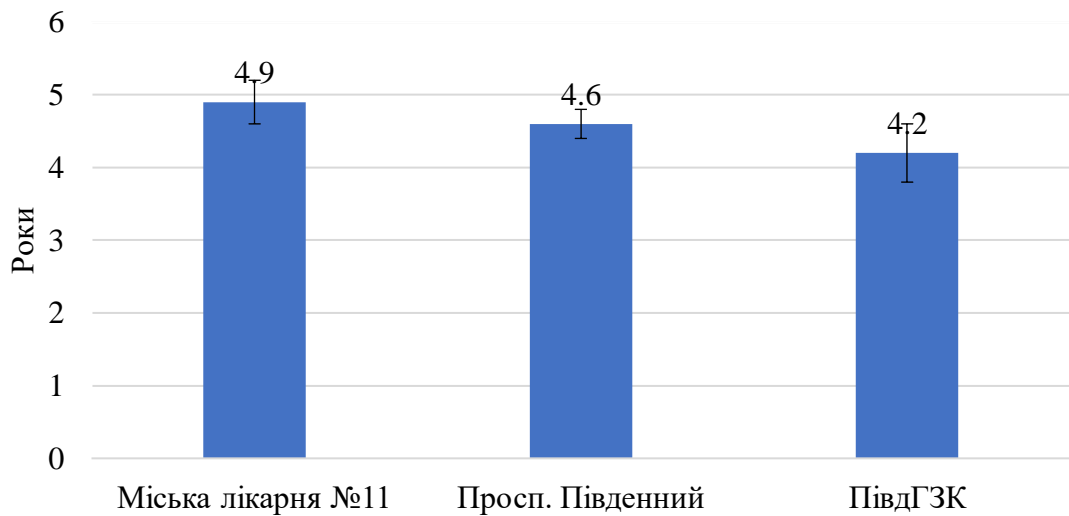


Рис. 3.1. Тривалість життя хвої *Picea abies* в насадженнях із різним рівнем забруднення в Інгулецькому районі

Отже, зі зростанням рівня забруднення показники довжини хвої та пагону другого порядку, тривалості життя хвої достовірно зменшувались у порівнянні з контролем. Тоді як показники кількості хвоїнок на пагонах навпаки збільшувались.

### 3.2. Біоіндикація рівня забруднення за ступенем пошкодження хвої *Picea abies*

Біоіндикація рівня забруднення довкілля є важливим інструментом для оцінки його стану та ефективності заходів щодо зменшення забруднення.

*Picea abies* вважається важливим видом хвойних дерев для біоіндикації рівня забруднення довкілля. Цей вид дерева є чутливим до різних типів забруднень, таких як викиди промислових газів, кислотний дощ, вплив радіоактивного випромінювання та інших факторів.

Хвоя ялини є чутливою до забруднювачів повітря, таких як оксиди азоту, сульфати, важкі метали та інші шкідливі речовини. Ступінь пошкодження хвої *Picea abies* може слугувати індикатором рівня забруднення. Зазвичай, при забрудненні повітря, хвоя починає змінювати свій колір і стан, тому що



шкідливі речовини впливають на фотосинтетичні процеси і знижують ефективність фотосинтезу. Зазвичай, якщо рівень забруднення дуже високий, то хвоя стає буруватою та починає висихати.

Хвойним рослинам *Picea abies* на відміну від листяних видів, притаманна: висока фітонцидна активність, інтенсивне поглинання шкідливих газів, хвоя затримує пил.

В результаті дослідження асиміляційного апарату *Picea abies* в Інгулецькому районі міста Кривий Ріг в умовах забруднення біля ПівнГЗК та по проспекту Південний було виявлено наявність некротичних і хлоротичних(рис. 3.2.) цяток на хвої і це свідчить про пошкодження рослин та може бути пов'язано з наявністю токсичних речовин у повітрі та ґрунті, які впливають на функціонування асиміляційного апарату. Нами відмічено, що при низькому рівні забруднення у насадженнях *Picea abies*, які зростали біля міської лікарні №11, хвоя без плям і практично відсутні сухі ділянки.

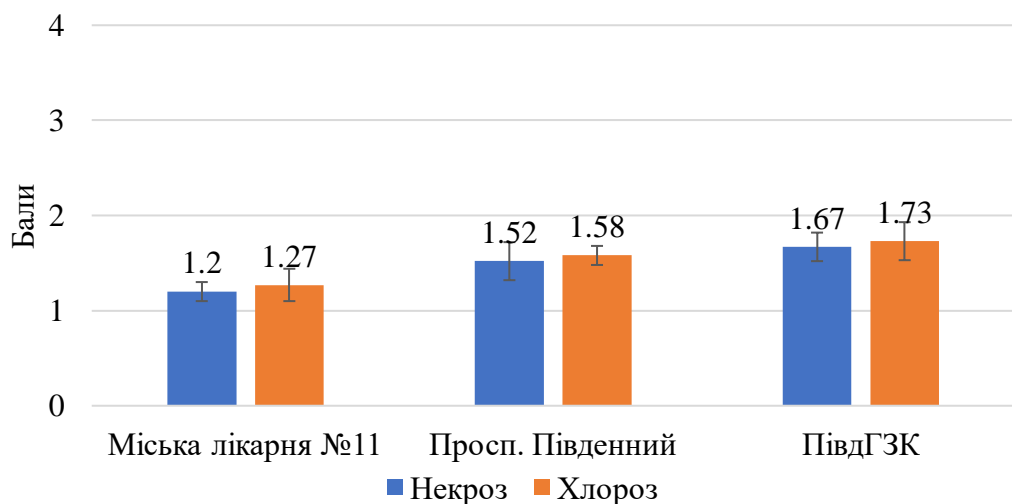


Рис. 3.2. Рівень некрозу і хлорозу хвої *Picea abies*

Дослідження показали, що високий рівень забруднення повітря може призводити до збільшення кількості некрозу та хлорозу хвої *Picea abies*. і для отримання результатів було проведено порівняльний аналіз між контрольною ділянкою та ділянкою №3, де було виявлено збільшення рівня некрозу на 39,2% та хлорозу на 36,2% і тому на ділянці №3 з великим вмістом газу та

пилу кількість хвоїнок з плямами майже у 1,5 рази більша, ніж в насадженнях із низьким рівнем забруднення. Це може бути пов'язано з надмірним впливом токсичних речовин на процеси фотосинтезу та інші фізіологічні процеси, що зменшує життєздатність дерев та підвищує ризик відмирання тканин.

Був проведений порівняльний аналіз між ділянками №2 та №1, що дозволило виявити збільшення рівня некрозу на 26,47 % та хлорозу на 24,14 %. Загалом, результати дослідження свідчать про те, що забруднення повітря може мати негативний вплив на стан хвойних дерев, зокрема *Picea abies*, які можуть бути використані як індикатор забруднення довкілля.

### Висновки до 3 розділу

Дослідження біоіндикації рівня забруднення за реакцією асиміляційного апарату *Picea abies* в Інгулецькому районі м. Кривий Ріг свідчать, що забруднення повітря може впливати на ріст і розвиток рослин, зокрема на їх морфологічні показники. Так при надмірному впливі токсичних речовин показники довжини хвої та пагону другого порядку достовірно зменшувались на 11,46 % та 16,71% у порівнянні з контролем. Тоді як показники кількості хвоїнок на пагонах навпаки збільшувались на 32,21% відповідно. Також знижувалась і тривалість життя хвої у 1,2 рази порівняно з контролем. Це дослідження є корисним для подальшого розуміння біологічної природи цього виду хвойних рослин і розробки стратегій для поліпшення їх вирощування.

Відмічено, в умовах високого та середнього рівня забруднення біля ПівнГЗК та по проспекту Південний показники хлорозу та некрозу підвищуються у 1,5 рази. При низькому рівні забруднення у насадженнях *Picea abies*, які зростали біля міської лікарні №11, хвоя була без плям і практично відсутні сухі ділянки.

Дані дослідження демонструють потенційно шкідливий вплив промислових викидів на навколишнє середовище та необхідність захисту рослин від негативного впливу.

## ВИСНОВКИ

Провівши теоретичний аналіз проблеми дослідження, можемо зробити наступні висновки. Проаналізували сутність методу біоіндикації в науковій літературі. Біоіндикація – це оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин тощо). Біологічні індикатори мають багато переваг перед інструментальними методами. Він ефективний, не вимагає значних витрат і дає можливість описувати стан навколишнього середовища протягом тривалих періодів часу. Фактори навколишнього середовища дуже чітко визначають, які організми можуть, а які не можуть жити в даному місці.

Охарактеризували основні принципи біоіндикації. Біологічні індикатори можна використовувати на різних рівнях біологічної організації (макромолекули, клітини, органи, організми, популяції, біоми). Для біоіндикації властиві в основному два методи – пасивний і активний моніторинг. При біоіндикації слід враховувати чотири основні вимоги: відносна швидкість проведення; одержання достатньо точних і відтворених результатів; присутність об'єктів, які застосовується в біоіндикації, по можливості в великій кількості і з однорідними властивостями; діапазон похибки в порівнянні з іншими методами тестування не більше 20 %.

З'ясували біоіндикаційні можливості використання асиміляційного апарату хвойних рослин. Особлива біоіндикаційна цінність хвойних рослин полягає в тому, що вони можуть слугувати індикаторами протягом року. А також вони дуже чутливі до техногенних забруднювачів завдяки своїм особливостям. Хвойні виступають індикаторами різноманітних забруднювачів і тому використовуються в біоіндикаційних дослідженнях на території різних регіонів, що дозволяє отримувати інформацію про екологічний стан урбоекосистем.

Надали оцінку стану атмосферного повітря міста. Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря міста Крвий Ріг є: озон,

оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, пил фенол та формальдегід. На зміни концентрації різноманітних домішок у атмосфері чуйно реагують рослини, що проявляється спочатку на фізіологічному рівні, а потім зміни відбуваються на морфологічних показниках асиміляційного апарату рослин.

Охарактеризували дослідні ділянки та об'єкт дослідження. Таким чином, ділянки насаджень *Picea abies* на території Інгулецького району було поділено за різним рівнем забруднення: високий рівень – дослідна ділянка №3 біля ПівдГЗКа, середній рівень – дослідна ділянка №2 по проспекту Південний та низький рівень – дослідна ділянка №1 біля міської лікарня № 11, яка слугувала умовним контролем.

*Picea abies* – родини соснових (*Pinaceae*) з яскраво зеленою гостроконусоподібною або пірамідальною густою кроною. Кора сіра або червонувато-бура з дугоподібними вертикальними тріщинами або лусками. Матеріалом для досліджень була двохрічна хвоя та пагони другого порядку дерев *Picea abies*, їх довжину вимірювали міліметровою лінійкою. Для досліджень відбирали зразки хвої по 100 шт з дерев *Picea abies* на висоті 2 м від земної поверхні з кожної із трьох ділянок, а також на гілках вимірювали довжину пагонів другого порядку та оцінювали наявність хлорозу та некрозу.

Дослідження асиміляційного апарату *Picea abies* в умовах різного рівня забруднення показало, що при надмірному впливі аерополютантів зменшуються морфометричні показники хвої, а саме: довжина хвої та пагонів другого порядку на 11,46 % та 16,71% у порівнянні з контролем. При цьому збільшується кількість хвоїнок на пагонах на 32,21% відповідно. Це може свідчити про адаптивну реакцію рослин на стрес, який викликається забрудненням. На дослідних ділянках №2 та №3 знижувались і показники тривалості життя хвої у 1,2 рази порівняно з ділянкою №1, де значення цього показника були найбільшими. Це можна пояснити найбільш сприятливими умовами для росту і розвитку хвойних рослин.

Нами відмічено, що при низькому рівні забруднення у насадженнях *Picea abies*, які зростали біля міської лікарні №11, хвоя без плям і практично відсутні сухі ділянки. Хвоя на інших двох дослідних ділянках №2 та №3 зі збільшеною кількістю дрібних цяток та сухими кінчиками, що майже у 1,5 рази більше порівняно з контролем. Це може бути пов'язано зі зменшенням життєздатності дерев та підвищенням ризику відмирання тканин через вплив забруднюючих речовин на процеси фотосинтезу та інші фізіологічні процеси.

Таким чином, можна припустити, що при середньому та високому рівні забруднення зростання *Picea abies* суттєво ускладнюється, що може призвести до зниження їх життєздатності та загрози виживання цих видів у майбутньому. Отже, важливо проводити регулярні моніторингові дослідження стану хвойних рослин, оскільки вони є гарними індикаторами урботехногенного середовища.

У подальшому можна розширювати дослідження на інші види дерев та на інших ділянках з різним рівнем забруднення. Також можна враховувати вплив інших факторів, таких як кліматичні умови та характер ґрунту, на зростання та розвиток рослин. Це дозволить отримати більш повне уявлення про взаємозв'язок між станом довкілля та здоров'ям дерев.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агурова І. В., Прохорова С. І. Моніторинг стану рослинного покриву техногенних земель: популяційний та морфологічний аспекти. Чорноморський ботанічний журнал. 2014. С. 249-262.
2. Андрейко Г. П. Методи біоіндикації навколишнього середовища: метод посіб. для практ. занять та сам. роб. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. 30 с.
3. Бессонова В.П., Пономарьова О.А. Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* Engelm залежно від відстані до автошляху. *Biosystems Diversity*. 2017. С. 96–101.
4. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. Моніторинг довкілля: підр. для студ. вищих навч. закладів. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця: ВНТУ, 2010. 232 с.
5. Вплив екологічних чинників на морфологію та фізіологію *Picea abies* (L.) Karst. в Карпатах / Г.В. Пасічник, Н.М. Іванова, О.В. Кондратюк та ін. // Наукові праці Українського державного лісотехнічного університету. - 2014. - Вип. 24.2. - С. 72-77.
6. Глухов О. З., Прохорова С. І. Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин. *Промислова ботаніка*. 2008. С. 3–4.
7. Горова А.І. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Донецьк: Національний гірничий університет, 2014. 76 с
8. Дідух Я.П. Основи біоіндикація. Київ: Наукова думка, 2012. 312с.
9. Екологічний паспорт Дніпропетровської області. 2022. С. 241.
10. Єременко Н. С. Рудеральна рослинність міста Кривий Ріг. II. Клас *Stellarietea mediae*. Український ботанічний журнал. 2018. С. 356-372.
11. Жицька Л. І. Рослинний покрив урбосистеми як індикатор стану едафотопів та атмосферних забруднень: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2011. 22 с.

12. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука, 1984. 424 с.
13. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О. Г. Васенко, О. В. Рибалова, С. Р. Артем'єв, Н. С. Горбань, Г. В. Коробкова та ін. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.
14. Калінін М.І., Єлісеєв В.В. Біометрія: Підручник для студентів вузів біологічних та екологічних напрямків. Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2000. 204 с.
15. Кейван М. П., Тертична О. В., Кейван О. П. Використання рослин-біоіндикаторів для екологічного оцінювання атмосферного повітря в зоні розташування птахофабрики. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. С. 109–113.
16. Костюшин В.А, Губар С.І., Домашлінець В.Г. Стратегія розвитку моніторингу біологічного різноманіття в Україні. Київ, 2009. 60 с.
17. Клименко О.М. Моніторинг довкілля. Київ: Академія, 2006. 360 с.
18. Криворучкіна О.В. Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення: матеріали виїзного засідання комітету з питань екологічної політики та природокористування. Кривий Ріг, 2019. С. 3–69.
19. Кудрявська Т. Б., Дичко А. О. Метод оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на повітря урбоєкосистеми. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. С. 4-7.
20. Липа, О. Л. Ботаніка. Систематика нижчих і вищих рослин: підруч. для студ. біол. спец. ун-тів і пед. ін-тів. Київ: Вища школа, 1975. 400 с.
21. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне: Дока-центр, 2018. 94 с.
22. Макогон И.В., Коршиков И.И. Качество пыльцы ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) и ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях интродукции на юго-востоке Украины. *Інтродукція рослин*. 2010. С. 9–13.

23. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. Визначення якості води методами біоіндикація. Київ: Науковий центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України, ІНЕКО НЕЦУ, 2011. 112 с.
24. Миленька М.М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 2008. Вип. 114. С. 111–114.
25. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування. Кременчук: Вид-во ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.
26. Посудін Ю. І. Моніторинг довкілля з основами метрології. Київ: 2012. 426 с.
27. Пузік В.К., Гловань Л.В. Сучасні методи моніторингу та захисту довкілля: навчальний посібник. Харків: ХНАУ, 2016. 168 с.
28. Свинчук В.А., Кашпор С.М., Миронюк В.В., Кутя М.М. Біометрія: *Методичні вказівки до практичних робіт*. Київ: ННІ лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2015. 77 с.
29. Слободян В. О. Біоіндикація. Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. 196 с
30. Сметана О.М., Перерва В.В. Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу. Кривий Ріг: Вид. дім, 2007. 247 с.
31. Федоренко О.І. Моніторинг навколишнього середовища. *Основи екології: підручник*. Київ, 2006. С. 306-318.
32. Хмельничий Л.М., Супрун І.О. Основи біометрії: Методичні вказівки до виконання лабораторних та самостійних робіт. Київ: НУБіП, 2010. 80 с.
33. Чемерис І. А., Загоруйко Н. В., Конякін С. М. Фітомоніторинг викидів автотранспорту в умовах міського середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2013. С. 141-146.
34. Чухрій Ю.П. Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг. Конспект лекцій. Одеса: ОНАХТ, 2014. 41 с.



35. Шалімов М. О. Біоіндикація: консп.лекцій. Наука і техніка, 2011. 124 с.
36. Шанда В.І., Євтушенко Е.О., Ворошилова Н.В., Шанда Л.В., Маленко Я.В., Кобрюшко О.О. Теоретичні проблеми біогеоценології: колективна монографія /наук. ред. Н. А. Білова; Криворізький державний педагогічний університет. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 330 с.
37. 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.
38. Швець Є.Я., Сидоренко М.Г., Червоний І.Ф. Біометрія. Частина 1. Навч. посібн. У 2-х частинах. Запоріжжя: ЗДІА, 2004. 180 с.
39. Шлапак В.П., Адаменко С.А. Екологія лісів, навч. посібн. – Умань: ВПЦ «Візаві», 2019. 222 с.
40. Юсипіва Т. І. Біоекологічний аналіз стану хвої *Picea pungens* в умовах викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС». *Ecology and Noospherology*. 2018. 29 (2). С. 119–124.
41. 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.
42. Chen L., Liu C., Zhang L., Zou R., Zhang Z. Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>). *Scientific Reports*. 2017. 7 (3206). P. 1–11. Doi: 10.1038/s41598-017-03360-1.
43. Di Vittorio, A.V. (2009). Pigment-based identification of ozone-damaged pine needles as a basis for spectral segregation of needle conditions. *J. Environ. Qual.*, 38(3), 855–867.
44. Jäger E.J. Indikation von Luftverunreinigungen durch morphometrische Untersuchungen an Hoheren Pflanzen. *Bioindikation*. 1980. 3. P. 43–52.
45. Miron, M.S. & Sumalan R.L. (2015). Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) seedlings to drought and overheating stress condition. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 19(2), 146–151.

46. 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.
47. 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)*, Vol. 39, No. 1, p. 1–15, 2020.
48. Zarek M. Seasonal fluctuations of photosynthetic pigments content in *Taxus baccata* needles. *Dendrobiology*. 2016. № 76. P. 13–24.