

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Т.В. Дудар
« _____ » _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

Тема: «Аналіз аеротехногенного забруднення м. Вінниця»

Виконавець: студентка групи ЕК-201м Сосновська Іванна Богданівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: д.т.н., доцент кафедри екології Тихенко Оксана Миколаївна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____
(підпис)

Кажан К.І.
(П.І.Б.)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

Явнюк А.А.
(П.І.Б.)

КИЇВ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дудар Т.В.

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи
Сосновської Іванни Богданівни

1. Тема роботи «Аналіз аеротехногенного забруднення м. Вінниця»

затверджена наказом ректора від «26» серпня 2022 р. №1132/ст.

2. Термін виконання роботи: з 26.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані роботи: методичні матеріали, літературні джерела за напрямом дослідження, нормативно-правові документи.

4. Зміст пояснювальної записки: 91 с., 12 рис., 10 табл., 83 бібліографічних посилання.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Отримання завдання, пошук літературних джерел по темі, напрацювання методології роботи	26.09.2022-30.09.2022	
2	Огляд літературних джерел та законодавчих нормативно-правових актів, що регулюють вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	1.10.2022-6.10.2022	
3	Визначення завдань та розроблення плану виконання дипломної роботи	7.10.2022	
4	Складання літературного огляду за темою наукового дослідження. Аналіз аеротехногенного забруднення м. Вінниця	8.10.2022-15.10.2022	
5	Проаналізувати ефективність застосування методів біоіндикації для оцінки аеротехногенного забруднення.	16.10.2022-9.11.2022	
6	Формулювання висновків і рекомендацій	10.11.2022	
7	Підготовка до доповіді та презентації дипломної роботи	11.11.2022-15.11.2022	
8	Передзахист дипломної роботи	15.11.2022	
9	Оформлення дипломної роботи згідно вимог діючих стандартів	15.11.2022-16.11.2022	
10	Захист дипломної роботи	22.11.2022	

7. Консультація з окремого(мих) розділу(ів):

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Доцент кафедри цивільної та промислової безпеки Кажан К.І.	20.10.2022	25.10.2022

8. Дата видачі завдання: «26» вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): _____
(підпис керівника)

Тихенко О.М
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____
(підпис випускника)

Сосновська І.Б
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Аналіз аеротехногенного забруднення м. Вінниця»: 91 с., 12 рис., 10 табл., 83 літературних джерел.

Завдання:

1. Охарактеризувати особливості застосування біоіндикаційних методів в екології, визначити місце флуктуаційної асиметрії в дослідженні довкілля.
2. Визначити на території міста репрезентативні дослідні майданчики з різним рівнем антропогенного навантаження.
3. Розрахувати коефіцієнт флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої.
4. Визначити рівень автотранспортного навантаження на дослідних майданчиках та розрахувати кореляційно-регресійну модель залежності величини коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження.
5. Зробити висновки про рівень аеротехногенного навантаження на дослідних ділянках та залежність коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження.

Об'єкт дослідження – динаміка аеротехногенного забруднення у місті Вінниця.

Предмет дослідження – флуктуаційна асиметрія листків берези бородавчастої (*Betula pendula* Roth.) міських насаджень.

Мета роботи – визначення стану забруднення атмосферного повітря міста Вінниці методом флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої та встановлення залежності величини флуктуаційної асиметрії від рівня транспортного навантаження.

Методи дослідження: спостереження, вимірювання, аналіз, статистична обробка результатів досліджень, узагальнення.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....		8
ВСТУП		9
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		11
1.1.	Біоіндикація як метод екологічного дослідження.....	11
1.2.	Основні принципи біоіндикації.....	15
1.3.	Фітоіндикація та її роль в оцінці довкілля.....	18
1.4.	Фітоіндикація антропогенних впливів за морфологічними змінами рослин.....	22
1.5.	Висновки до розділу.....	26
РОЗДІЛ 2. БІОМОНІТОРИНГ І БІОІНДИКАЦІЯ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА.....		27
2.1.	Особливості біоіндикації забруднення та стану атмосферного повітря.	27
2.2.	Біолого-екологічна характеристика берези бородавчастої у природних та урботехногенних умовах середовища.....	36
2.3.	Висновки до розділу.....	47
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ВІННИЦЯ.....		49
3.1.	Природно-кліматичні умови м. Вінниця.....	49
3.2.	Екологічний стан довкілля м. Вінниця.....	54
3.3.	Основні джерела забруднення атмосферного повітря міста Вінниця.....	58
3.4.	Висновки до розділу.....	61
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ М. ВІННИЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ АСИМЕТРІЇ ЛИСТКІВ БЕРЕЗИ БОРОДАВЧАСТОЇ		62
4.1.	Методика проведення дослідження	62

4.2.	Характеристика дослідних ділянок.....	65
4.3.	Аналіз результатів дослідження аеротехногенного забруднення в м. Вінниця.....	67
4.4.	Висновки до розділу.....	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ		76
5.1.	Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника.....	76
5.2.	Перевірочний розрахунок для природного освітлення.....	79
5.3.	Пожежна безпека.....	80
5.4.	Висновки до розділу.....	81
ВИСНОВКИ.....		82
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ФА – флуктуаційна асиметрія

ЦГМ – центр гідрометеорології

ПСЗ – пункт спостереження

ПрАТ – приватне акціонерне товариство

ДУ – державне управління

рр. – роки, років

ВСТУП

Актуальність теми.

На сьогодні питання визначення стану атмосферного повітря є актуальним у місті Вінниця, так як воно характеризується інтенсивним розвитком промисловості та чисельним автотранспортом. Через це у місті концентрація забрудників повітря є досить високою. За особливостями ознак та поширення складових рослинного покриву урбоекосистеми можна встановити рівень забруднення ґрунтів, повітря чи водойм. Рослини-індикатори можуть допомогти виявити забруднення повітря вже на початкових його стадіях, що дозволяє оцінити загальний екологічний стан міського середовища. У рослин, під дією різних токсичних речовин, відбуваються певні зміни анатомічних і морфологічних ознак.

Мета і завдання виконання дипломної роботи.

Мета роботи – визначення стану забруднення атмосферного повітря міста Вінниці методом флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої та встановлення залежності величини флуктуаційної асиметрії від рівня транспортного навантаження.

Завдання роботи:

1. Охарактеризувати особливості застосування біоіндикаційних методів в екології, визначити місце флуктуаційної асиметрії в дослідженні довкілля.
2. Визначити на території міста репрезентативні дослідні майданчики з різним рівнем антропогенного навантаження.
3. Розрахувати коефіцієнт флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої.
4. Визначити рівень автотранспортного навантаження на дослідних майданчиках та розрахувати кореляційно-регресійну модель залежності величини коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження.
5. Зробити висновки про рівень аеротехногенного навантаження на

дослідних ділянках та залежність коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження.

Об'єкт дослідження – динаміка аеротехногенного забруднення у місті Вінниця.

Предмет дослідження – флуктуаційна асиметрія листків берези бородавчастої (*Betula pendula* Roth.) міських насаджень.

Методи дослідження: спостереження, вимірювання, аналіз, статистична обробка результатів досліджень, узагальнення.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше досліджено рівень аеротехногенного навантаження в м. Вінниця на основі визначення коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження можуть бути використані для екологічного моніторингу стану повітря м. Вінниця.

Особистий внесок випускника: було опрацьовано відповідні наукові літературні джерела та проаналізовано екологічний стан м. Вінниця; визначено в місті дослідні майданчики з різним рівнем антропогенного навантаження; розраховано коефіцієнт флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої та кореляційно-регресійну модель залежності флуктуаційної асиметрії від рівня автотранспортного навантаження.

Апробація отриманих результатів: результати дипломної роботи доповідались на X Всесвітньому конгресі "Авіація у XXI столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології".

Публікації: за результатами дипломної роботи було опубліковано 1 тези доповіді у Міжнародній науковій конференції.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В зв'язку з глибокою трансформацією природного середовища, що здійснюється під дією антропогенного впливу, який за своїми масштабами вийшов на планетарний рівень, а за силою та швидкістю випереджають вплив природних факторів, загострюються і стають актуальними проблеми збереження екосистеми та біосфери в цілому.

Визначення біологічно значимих антропогенних навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їх угруповань пов'язано з біоіндикацією. Значимість рослинного покриву як індикатора стану екосистеми є в тому, що він дуже чутливо реагує на зміну екологічних факторів. Достатньо важливим є те, що він відображує емерджентний характер змін властивостей екосистем в залежності від рівня їх організації. Емерджентність – виникнення, поява нового (часто несподіване), в теорії систем – наявність у будь-якої системи особливих властивостей, не властивих її підсистемам і блокам, а також сумі елементів, не пов'язаних системоутвірними зв'язками; неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей її компонентів. Такі ознаки визначають придатність біоіндикації для екологічних досліджень, експертиз, прогнозування поведінки, стану та розвитку екосистем.

Найбільшого впливу господарської діяльності людини зазнають екосистеми міста. Тому важливим є контроль за станом навколишнього середовища та своєчасний аналіз забрудненості території міста. В деякій мірі ці питання дозволяє вирішити біоіндикаційна оцінка [10].

1.1. Біоіндикація як метод екологічного дослідження

Системи моніторингу, побудовані на основі дослідження поведінки рослин і тварин, дають змогу оцінити біологічні ефекти від впливу забруднення повітря, їх

просторовий розподіл, можливе нагромадження на значних територіях.

У деяких видів рослин і тварин змінюються особливості розвитку (швидкість росту, процес цвітіння, утворення плодів, інтенсивність забарвлення та ін.) у відповідь на різні подразнюючі фактори. 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.

Біоіндикація (грец. *bios* - життя лат. *indico* - вказую) - оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин та ін.).

Цей метод дедалі поширюється, оскільки рослини-індикатори мають такі переваги:

- підсумовують біологічно важливі дані щодо навколишнього середовища;
- здатні реагувати на короткочасні й залпові викиди токсикантів;
- реагують на швидкість змін, що відбуваються в довкіллі;
- вказують на місця накопичення забруднювачів та шляхи їх міграції;
- дають змогу розробляти оцінки шкідливого впливу токсикантів на людину й живу природу на ранніх стадіях та нормувати допустиме навантаження на екосистеми.

Біоіндикація використовується в екологічних дослідженнях, як метод виявлення антропогенного навантаження на біоценоз. Метод біоіндикаторів заснований на дослідженні впливу екологічних факторів, що змінюються, на різні характеристики біологічних об'єктів і систем. У якості біоіндикаторів вибирають найбільш чуттєві до досліджуваних факторів біологічні системи або організми. Зміни в поведженні тест-об'єкта оцінюють у порівнянні з контрольними ситуаціями, прийнятими за еталон. Наприклад, при оцінці екологічного стану поверхневих вод у якості біоіндикаторів використовують спостереження за поведженням дафній, молюсків, деяких риб.

Існують принаймні три випадки, коли біоіндикація стає незамінною:

- Фактор не може бути вимірний. Це особливо характерно для спроб

реконструкції клімату минулих епох. Так, аналіз пилку рослин в Північній Америці за тривалий період показав зміну теплого вологого клімату на сухий прохолодний і далі заміну лісових угруповань на трав'яні. В іншому випадку залишки діатомових водоростей (співвідношення ацидофільних і базифільних видів) дозволили стверджувати, що в минулому вода в озерах Швеції мала кислу реакцію з цілком природних причин [12].

- Фактор важко виміряти. Деякі пестициди так швидко розкладаються, що не дозволяють виявити їх вихідну концентрацію в ґрунті. Наприклад, інсектицид дельтаметрин активний лише кілька годин після його розпилення, в той час як його дію на фауну (жуків і павуків) простежується протягом декількох тижнів.

- Фактор легко виміряти, але важко інтерпретувати. Дані про концентрації різних забруднюючих речовин у навколишньому середовищі (якщо вони не мають надто високі концентрації) не дають відповіді на те, наскільки ситуація небезпечна для живого організму. Норми гранично допустимих концентрацій (ГДК) для різних речовин стосуються лише людини. Однак зрозуміло, що ці показники не можна узагальнити для інших організмів. Є також більш чутливі види, які можуть бути ключовими для підтримки екосистеми. З точки зору охорони навколишнього середовища важливіше відповісти на питання, які наслідки спричинить концентрація того чи іншого забруднювача в навколишньому середовищі. Основним завданням біоіндикації є ідентифікація типів біоіндикаторів, що реагують на зміни стану навколишнього середовища, викликані природними і антропогенними факторами, а також добір тест-індикаторів з високими порогам чутливості до змін стану навколишнього середовища.

Біоіндикатори – види, групи видів або угруповання, за наявності, ступенем розвитку, зміною морфологічних, структурно-функціональних, генетичних характеристик яких роблять висновок про стан довкілля. Як біоіндикатори часто виступають лишайники та мохоподібні, у водних екосистемах – угруповання бактеріопланктону, фітопланктону, зоопланктону, зообентосу, фітобентосу, перифітону.

Ряд рослин-індикаторів реагує на підвищені або знижені концентрації мікро- і

макроелементів у ґрунті. Це явище використовується для попередньої оцінки ґрунтів, визначення можливих місць пошуку корисних копалин.

Одним із специфічних методів моніторингу забруднення навколишнього середовища є біоіндикація, визначення ступеня забруднення геофізичних середовищ за допомогою живих організмів, біоіндикаторів. Живі індикатори не повинні бути занадто чутливими і занадто стійкими до забруднення. Необхідно, щоб вони мали досить тривалий життєвий цикл. Важливо, щоб такі організми були широко поширені на планеті, і кожен вид повинен бути присвячений певному місці [13].

Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Він високоефективний, не вимагає великих витрат і дає можливість характеризувати стан навколишнього середовища протягом тривалого часу.

Фактори навколишнього середовища досить жорстко визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які ні. Враховуючи це, ми можемо використовувати зворотну закономірність і судити про фізичне середовище організму, який живе в ньому. Так з'явився метод біоіндикації середовища, який особливо широко використовується в лісовій типології, фітоценології, а також для визначення рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) або грибів (мікоіндикація).

Отже, біоіндикатори — група особин одного виду або угруповання, наявність, чисельність або інтенсивність розвитку яких у тому чи іншому середовищі є показником певних природних процесів або умов зовнішнього середовища. Сьогодні для оцінки забруднення навколишнього середовища широко використовується біологічна індикація, яка «вилучає» з природних екологічних ніш види нижчих і вищих рослин, а також представників фауни, нестійких до факторів забруднення.

Біоіндикатори, біологічні індикатори – організми, наявність (наявність), чисельність або інтенсивний розвиток яких є показником природних процесів або умов зовнішнього середовища. Таким чином, концентрація рибоїдних птахів є показником біоіндикації місць ведення риби, за складом планктону можна передбачити, яким буде улов риби. За складом водної флори і фауни можна визначити придатність води для пиття і визначити ефективність очисних споруд. За допомогою

рослин-індикаторів і мікроорганізмів можна дати приблизну оцінку якості ґрунту. Тварини, рослини і мікроорганізми використовуються в космічних дослідженнях як біоіндикатори для з'ясування впливу факторів космосу на організми.

Під впливом забруднення навколишнього середовища змінюються еколого-фізіологічні характеристики: пігментація, забарвлення рослин. Вони викликані надлишком токсичних солей у ґрунті або нестачею поживних речовин.

Біоіндикація має певні переваги як метод отримання безпосередньої інформації про зміни стану біоти в конкретних умовах забруднення, але її необхідно поєднувати з хімічними та геофізичними експериментами для отримання не тільки якісної, а й кількісної інформації.

1.2. Основні принципи біоіндикації

Усі біологічні системи — це організми, популяції та біоценози, які в процесі свого розвитку пристосувалися до комплексу факторів певної території. Вони зайняли в біосфері певну територію, екологічну нішу, в якій знаходять оптимальні умови для існування і можуть нормально харчуватися і розмножуватися. Кожен організм має генетично обумовлений, філогенетично набутий унікальний фізіологічний діапазон толерантності до кожного чинника, що на нього діє, в межах якого цей фактор йому придатний. Якщо фактор характеризується занадто низькою або занадто високою інтенсивністю, але ще не летальний, то організм перебуває в фізіологічному песимумі. У досліджуваній зоні інтенсивності фактора, яка є особливо сприятливою для даної людини, організм існує в умовах фізіологічного оптимуму [76].

Існують різні форми біоіндикації. Якщо дві однакові реакції викликані різними антропогенними факторами, то говорять про *неспецифічну біоіндикацію*. Якщо ж ті чи інші зміни можна пов'язати тільки з одним фактором, мова йде про *специфічну біоіндикацію*.

Якщо біоіндикатор реагує значним відхиленням життєвих показників від норми, то він є **чутливим біоіндикатором**.

Акумулятивні біоіндикатори, накопичують антропогенну дію без швидких

проявів порушень. Таке значне накопичення, забруднення, поступово перевищує нормальний рівень, найчастіше відбувається на рівні екофізіологічних або біоценотичних процесів.

У природі всі види біоіндикації включені в ланцюжок послідовно протікаючих реакцій і процесів. Якщо антропогенний фактор діє безпосередньо на біологічний елемент, то мова йде про пряму біоіндикацію. Але часто біоіндикація стає можливою лише після зміни стану під впливом інших безпосередньо задіяних елементів. В даному випадку ми маємо справу з непрямою біоіндикацією та біоіндикатором. Часто буває бажано заздалегідь виявити біологічну дію антропогенного фактора, щоб у відомих умовах мати можливість впливати на цю дію. Наявність дуже чутливих біоіндикаторів призводить до ранньої індикації, коли реакція проявляється в мінімальних дозах за короткий проміжок часу і проходить за короткий проміжок часу і проходить в місці дії фактора на елементарні молекулярні та біохімічні процеси.

В залежності від часу розвитку біоіндикаційних реакцій можна виділити шість різних типів чутливості.

I тип: біоіндикатор дає через певний час, на протязі якого він ніяк не відповідав на дію (відсутність ефективного рівня), одноразову сильну реакцію і втрачає чутливість (вище верхнього ефективного рівня).

II тип: як і в першому випадку, реакція миттєва і сильна, але продовжується деякий час після чого різко зникає.

III тип: біоіндикатор реагує з моменту виявлення порушеної дії з однаковою інтенсивністю на протязі довгого проміжку часу.

IV тип: після миттєвої сильної реакції спостерігається її припинення, спочатку швидко, потім більш повільно.

V тип: при появі порушеної дії починається реакція, яка стає все більш інтенсивною, поки не досягне максимуму, а потім поступово припиняється.

VI тип: реакція V-го типу багаторазово повторюється; виникає осциляція біоіндикаторних параметрів.

Біоіндикацію можна використовувати на різних рівнях організації живого (макромолекула, клітина, орган, організм, популяція, біоценоз). З підвищенням рівня

організації біологічних систем зростає і їхня складність, оскільки водночас ускладнюються їхні зв'язки з факторами розташування. При цьому біоіндикація на нижчих рівнях діалектично включається в біоіндикацію на вищих рівнях, діючи на них у новій якості. Якщо на нижчих рівнях організації біологічних систем переважає пряма і частіше специфічна біоіндикація, то на вищих рівнях переважає непряма біоіндикація [76].

Через складність біологічних систем часто можлива лише неспецифічна біоіндикація. Однак саме тут відкриваються шляхи ідентифікації комплексних стресових дій і тим самим оцінки допустимих навантажень на складну екосистему. Іноді біоіндикаційні методи, які легко використовувати на нижчих організаційних рівнях, стають настільки складними в більш складних системах, що розрізнити дію фактора стає неможливо. З іншого боку, біоіндикаторні ознаки, які виявляються на вищому організаційному рівні, пов'язані з відповідними змінами на попередніх рівнях. Цю закономірність слід брати до уваги при пошуку можливостей ранньої біоіндикації. У порівнянні з окремими організмами екосистеми реагують на стресові впливи найчастіше із запізненням і в сильно зміненому вигляді.

В відповідності з організаційними рівнями біологічних систем можна встановити різні **рівні біоіндикації**:

- 1-й рівень: біохімічні і фізіологічні реакції;
- 2-й рівень: анатомічні, морфологічні, біоритмічні і поведінкові відхилення;
- 3-й рівень: флористичні і фауністичні зміни;
- 4-й рівень: ценотичні зміни;
- 5-й рівень: біогеоценотичні зміни;
- 6-й рівень: зміна ландшафтів.

В основному існують два методи біоіндикації - **пасивний** і **активний** моніторинг. У першому випадку на вільноживучих організмах досліджуються видимі або невидимі пошкодження або відхилення від норми, які є ознаками стресу. Активний моніторинг виявляє такі ж впливи на тест-організми, що й у стандартних умовах на досліджуваній території.

При біоіндикації слід враховувати чотири основні вимоги:

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 % [76].

Отримання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливе лише за умови точного дотримання низки вимог. Таким чином, при виборі рослини для використання в якості біомонітора необхідно дотримуватися наступних умов:

- наявність вираженої реакції рослини на вплив забруднюючої речовини, тобто видимих ознак пошкодження, зміни швидкості росту, морфологічних змін, порушень цвітіння, зміни продуктивності чи врожайності;
- підбір рослин, невибагливих до умов вирощування та догляду;
- підбір рослин, мало уражених шкідниками та хворобами [50].

1.3. Фітоіндикація та її роль в оцінці довкілля

Фітоіндикація — метод оцінки різноманітних факторів, умов, явищ, режимів середовища за певними видами рослин або рослинними угрупованнями. В його основі лежить взаємозв'язок між видами та умовами їх існування. Він дає змогу швидко й надійно візуально фіксувати не лише статистичні властивості, ознаки, а й динамічні зміни навколишнього середовища на великих територіях, тому використовується для екологічних експертиз, прогнозів, картографування.

Фітоіндикація є складовою частиною розділу дисципліни біоіндикація, яка є прикладною галуззю екології і розроблена для оцінки факторів навколишнього середовища за біологічною складовою, насамперед рослинністю. Це визначення екологічних умов на основі характеру та стану рослинності [78].

Фітоіндикація — складова частина екологічного моніторингу — система спостереження за станом навколишнього середовища на певній території (від ділянки

суші чи водної поверхні до цілого материка) з метою раціонального використання природних ресурсів та охорони природи.

Фітоіндикатори — рослини організми, наявність, чисельність або особливості будови, росту і розвитку яких є показником природних процесів, особливих умов або антропогенних змін середовища. Багато рослин чутливі до різних факторів зовнішнього середовища і можуть існувати лише в певних, часто вузьких межах своєї мінливості.

При оцінці екологічного стану певної території метод фітоіндикації досить ефективний, оскільки живі системи надзвичайно чутливі до змін навколишнього середовища і мають здатність реагувати до того, як ці зміни стануть помітними. Перевагою фітоіндикаторів є те, що вони узагальнюють усі біологічно важливі дані про навколишнє середовище і відображають його стан у цілому; не вимагають використання дорогих методів дослідження; вказують шляхи та місця накопичення в екосистемах різних видів забруднення; дають змогу оцінити ступінь шкідливості речовин для живої природи [22; 58].

У системі моніторингу широко використовуються методи фітоіндикації. Вони істотно відрізняються від інших методів дешевизною і можливістю одночасного охоплення великих площ, що підлягають індикації, а також відносною простотою інтерпретації. Вони дають змогу використовувати інформацію та оцінювати режими тих дій, які під час спостереження мають нульову активність.

Фітоіндикація здійснюється на різних рівнях організації рослин: клітинному, анатомо-морфологічному, організмовому, популяційному, фітоценотичному та ландшафтному. [77].

Кожен вид рослин, крім історії розвитку, поширення, структури популяції, характеризується специфікою екології, що визначає його поведінку в природі по відношенню до інших видів. Індивідуальність поведінки видів визначає той важливий момент, що їх одночасне зростання в ценозі призводить не тільки до конкуренції, а й до такого доповнення, яке сприяє більш оптимальному використанню екологічних ресурсів [78].

Рослина-індикатор – це своєрідний хімічний датчик, за допомогою якого можна

визначити наявність того чи іншого забруднювача, але без отримання даних про його кількість [24]. Індикаторами можуть виступати рослини, які мають здатність накопичувати в своїх тканинах забруднюючу речовину або продукти метаболізму, що утворюються в результаті взаємодії рослини із зовнішніми факторами, такими як: важкі метали (свинець і кадмій), сульфат або фтористий водню. В результаті їх дії можуть змінюватися параметри розвитку рослин (швидкість і якість росту, цвітіння, утворення плодів і насіння), процеси розмноження; врожайність і продуктивність знижуються. Кожен параметр окремо або їх комбінацію можна використовувати для визначення присутності забруднюючих речовин (шляхом експериментів) і в контрольованих умовах для співвіднесення ознак пошкодження або змін у стані рослини з наявністю конкретного забруднювача або суміші [19].

Використання рослин-індикаторів доцільно як для виявлення конкретних забруднюючих речовин, так і для оцінки загального стану природного середовища. Моніторинг можна проводити на рівні рослинних угруповань – фітоценозів, або окремих видів. Критерієм кількості поглиненого рослинами токсиканту можуть також слугувати деякі анатомо-морфологічні та фізіолого-біохімічні особливості рослин [29]. При оцінці стану навколишнього природного середовища методом фітоіндикації важливо враховувати характеристики та тип ґрунту: вміст поживних речовин, відсоток зволоження, топографічні та метеорологічні умови, наявність хвороб чи шкідників.

За допомогою фітоіндикації можна оцінити зміни у видовому різноманітті організмів конкретної території, а також в їх хімічному складі, який відображає здатність накопичувати елементи і сполуки, що надходять із зовнішнього середовища. Наприклад, оцінка зміни чисельності видів рослин на певній території пов'язана з тим, що найбільш чутливі до певних забруднювачів види рослин взагалі зникають з біоценозу (лишайники в промислових центрах) або, навпаки, можуть збільшення їх кількості (синьо-зелені водорості при надходженні у водойми забруднюючих речовин із сільськогосподарських угідь) [7; 31].

Фітоіндикація - це науковий напрямок, заснований на оцінці екологічних факторів або екосистем за допомогою флористичних ознак, тобто ознак видів,

угруповань, їх сукупностей і взаємозв'язків.

Основними методами фітоіндикації є фенологічний; морфо- і біометричний; анатоמו-цитологічний; фізіологічний; біохімічний; біофізичний; дендрологічний; флористичний; популяційний та екосистемний; генетичний; ліхеноіндикаційний. Але на практиці найчастіше вивчають саме макроскопічні зміни рослин.

Процес фітоіндикації складається з наступних операцій:

- вибір індикату (фактору), що зумовлює мету індикації;
- вибір способу і масштабу вимірювань його величини або зміни;
- пошук індикатора на основі логічних доказів його зв'язків з даним фактором;
- розроблення шкали вимірювання індикаційних ознак;
- визначення ступеня кореляції між зміною фактору і індикатора, а також засобу його відображення [77].

Під час фітоіндикації зміни в біологічній системі завжди залежать як від антропогенних, так і від природних факторів середовища. Ця система реагує на дію навколишнього середовища в цілому відповідно до своєї схильності, тобто такими внутрішніми факторами, як умови харчування, вік, генетично контрольована резистентність і вже наявні розлади. Якщо індикатор реагує значним відхиленням життєвих проявів від норми, то це чутливий фітоіндикатор. Акумулятивні фітоіндикатори, навпаки, акумулюють антропогенні впливи здебільшого без швидкого виявлення порушень. Функцію індикатора виконує вид, який має вузьку амплітуду екологічної толерантності по відношенню до будь-якого чинника. У більшості випадків це рослини - організми, не здатні до активного руху [78].

В основі індикації екологічних умов лежить оцінка змін як видового різноманіття організмів певної території, так і їх хімічного складу, що відображає здатність накопичувати елементи і сполуки, що надходять із навколишнього середовища. Наприклад, оцінка стану навколишнього середовища за зміною чисельності видів пов'язана з тим, що з біоценозу зникають найбільш чутливі до певних забруднювачів види рослин (лишайники в промислових центрах) або, навпаки, збільшення їх чисельності (синьо-зелених водоростей при надходженні у водойми

забруднюючих речовин із сільськогосподарських угідь) [77].

1.4. Фітоіндикація антропогенних впливів за морфологічними змінами рослин

Динамічна рівновага і стійкість біологічних систем тісно пов'язані з фітоіндикацією морфогенетичних змін рослин у відповідь на антропогенний вплив. На рівні організмів і екосистем вплив стресорів виділяється лише появою зовнішніх симптомів пошкодження (некрозу, хлорозу) після того, як порушується межа адаптаційних можливостей і система стає нестійкою. Для деяких стрес-факторів вже випробувані, а іноді й спеціально підібрані різні морфологічні індикатори, за допомогою яких можлива короткочасна чи довготривала індикація як при малих, так і при високих дозах їх впливу.

Макроскопічні зміни пов'язані зі змінами забарвлення листя, які в більшості випадків являють собою неспецифічну реакцію на різні стресори [79].

Хлороз - бліде забарвлення листя між жилками. Так (для рослин на відвалах, які залишаються після видобутку важких металів); пожовтіння країв або окремих ділянок листя (у листяних дерев під впливом хлоридів); почервоніння (накопичення антоціанів у вигляді плям на листках смородини та гортензії під впливом SO_2); побуріння або бронзування (у листяних дерев - часто початкова стадія сильного некротичного ураження, у ялини і сосни - служить для подальшого дослідження димових пошкоджень). Зміна кольору, при якій характер пошкодження листя подібний до пошкодження морозом, часто є першими стадіями некрозу [78].

Некроз - відмирання обмежених ділянок тканини - важливі симптоми пошкодження при індикації, іноді специфічні. Розрізняють наступні види некрозу:

1) крапельний і плямистий некроз - це відмирання тканин листової пластини у вигляді точок або плям, дуже характерними є сріблясті плями після впливу озону у тютюну сорту Bel W3;

2) міжжилковий некроз - відмирання листової пластинки між бічними жилками першого порядку, зачасту під впливом SO_2 ;

3) крайові некрози - характерні, чітко відмежовані форми, що з'являються у лип, пошкоджених кам'яною сіллю, що використовується для танення льоду. При поєднанні міжжилкових і крайових некрозів з'являються візерунки типу «риб'ячого скелета»;

4) верхівковий некроз (особливо в однодольних і хвойних), характерний темно-коричневий, різко обмежений некроз кінців хвої сосни та ялиці після впливу SO₂ або білий знебарвлений некроз кінчиків листя;

5) некрози навколоплоднику, які утворюються після впливу SO₂ на насіннів плоди, особливо біля квіток. При розвитку некрозу спочатку спостерігається зміна забарвлення (під впливом SO₂ найчастіше утворюється брудно-зелений; пероксиацетилнітрату — розмочені водою; O₃ — плями з металевим блиском; хлоридів — хлороз). Після відмирання клітин уражені ділянки осідають, висихають і можуть буріти через виділення дубильних речовин (часто у дерев), або через кілька днів тьмяніти до білуватого кольору.

Під впливом етилену в теплицях відбувається передчасне в'янення: квітки гвоздики не розкриваються, а пелюстки орхідей в'януть.

Опадання листя (дефоліація) спостерігається в більшості випадків після некрозу або хлорозу. Прикладом може бути скорочення тривалості життя хвої, її осипання у ялини, скидання двоголкових укорочених пагонів у сосни, передчасне опадання листя у липи та каштана під впливом солі, яка використовується для розтоплення льоду, або в агрусу та смородини під впливом SO₂ [78].

Зміна форми, кількості та положення органів. У листяних дерев після впливу радіоактивного випромінювання була відмічена аномальна конфігурація листя. Внаслідок місцевого некрозу характерні потворна деформації, витягування, набухання або скручування пагонів, зрощення або розщеплення окремих органів, збільшення або зменшення кількості частин квітки, зміни статі та інших аномалій розвитку під впливом гормональних гербіцидів або радіоактивного випромінювання.

Зміна напрямку, форми росту і розгалуження. У кульбаби відзначено зміну напрямку росту коренів при зміні рівня ґрунтових вод; у *Dyscranium polysetum* — утворення тонких пагонів і розгалуження; у липи при стійкому забрудненні

атмосфери HCl або SO₂ спостерігаються кущисті та подушкоподібні форми росту; у хвойних, що уражаються димом – зрідження крони і зміна якості стовбура.

Зміна росту переважно неспецифічна, але широко використовується для індикації, оскільки є більш чутливим параметром, ніж некроз, і дозволяє безпосередньо визначити зниження продуктивності рослин, які вирощує людина. Вони в основному вимірюють зміни радіального росту стовбура, зростання пагонів і листя в довжину, довжину коренів.

Зміна плодючості спостерігається у багатьох рослин, це може бути, наприклад, зниження утворення плодкових тіл у лишайників [78].

Рослини, що знаходяться у зоні забруднення повітря сірчистим газом, інтенсивно накопичують у своїх тканинах сірку. Звісно, чим більше склад цього елемента в рослинах, тим сильніше пошкоджується листя. Спочатку на них з'являються опіки, потім листові пластини зморщуються, відмирають і відпадають. У рослин, які зазнали дії двоокису сірки, різко падає вміст хлорофілу, істотно порушується структура хлоропластів. Все це впливає на інтенсивність фотосинтезу, він різко послаблюється, що в свою чергу пригнічує ріст рослин, знижує врожайність, послаблює стійкість рослин до збудників хвороб. Рослини, у яких реакція на сірчистий газ проявляється різко і чітко, можуть бути індикаторами цього токсиканту. Таким індикатором можуть бути епіфітні лишайники, яким потрібне дуже чисте повітря, і найменше забруднення атмосфери, що не впливає на більшість вищих рослин, викликає їх масову загибель. Хвойні також страждають від сірчаного газу, під впливом якого хвоя сосни в сильно забруднених районах набуває темно-червоного забарвлення, яке поширюється від основи хвої до її гострого кінця, після чого хвоя відмирає і опадає. Однорічна трава має дуже високу чутливість до сірчаного газу (*Poa annua* L.) [79].

Фтор також є дуже шкідливим для рослин. Клітини рослин реагують на нього відразу після його проникнення в тканини. В першу чергу на рослинах з'являється хлороз, що супроводжується відмиранням листя (цитрусові, хвойні, рис, колеус, яблуна, груша). При індикації забруднення атмосфери фтором використовують рослини, особливо чутливі до фтору: цибуля, гладіолуси, ялина, квасоля, сосна. Ці

рослини страждають вже при концентрації фтористого водню порядку 0,5 мкг/м³, найбільш характерною ознакою ураження хвойних порід є побілка, а потім потемніння кінців голок [79].

Понад 40 хімічних елементів таблиці Менделєєва належать до важких металів. З точки зору забруднення навколишнього середовища, в основному ґрунтів, здатності до накопичення в продуктах харчування та токсичності Hg, Pb, Cd, Sn, Va, Zn, Sb, Cu, Ni, Mo, As і Co є найбільш важливою. Нижчі рослини, сфагнові мохи, лишайники вказують на забруднення атмосфери важкими металами. Під впливом надлишку певних елементів у природному середовищі змінюється забарвлення листя, квітів, плодів та інших органів вищих рослин.

Найчастіше при надлишку того чи іншого елемента виникає явище хлорозу – втрата зеленого кольору, що супроводжується пожовтінням, а іноді навіть побілінням листя. Такий хлороз викликається надлишком у ґрунті сполук алюмінію, марганцю, міді. Надлишок рухомого цирконію призводить до відмирання тканин листя, а між відмерлими ділянками можуть залишатися зелені зони. Поширення хлорозу від верхівки листа до основи зумовлене перенасиченням ґрунту цинком [78].

В результаті насичення тим чи іншим хімічним елементом змінюється і забарвлення квітів. Під впливом йоду починають переважати жовто-червоні відтінки. У разі підвищення марганцю в ґрунті квіти ряду рослин набувають нехарактерного жовто-червоного забарвлення, а гвоздики та айстри – темно-фіолетового. Під впливом міді пелюстки троянд з рожевих і жовтих стають блакитними або навіть червоними. Наявність високих доз нікелю в ґрунті призводить до того, що оцвітина сон-трави стає білого кольору, а не фіолетового [79].

Специфічний вплив підкислення ґрунту на рослини (кислотні дощі) впливає на види, чутливі до кислоти; забруднення ґрунту пилом, що містить важкі метали - на рослинах з високою чутливістю до підвищеного вмісту цих елементів; шкода, спричинена сольовим стресом, впливає на фізіологічні та біохімічні реакції як чутливих до солі глікофітів, так і більш-менш стійких до солі галофітів.

1.5. Висновки до розділу

Отже, проблема охорони навколишнього природного середовища на сьогодні є глобальною. Розробка методів моніторингу виявлення, ідентифікації та визначення концентрації отруйних речовин є важливим етапом оздоровлення навколишнього природного середовища. Дуже важливим елементом цього є рослини, які дуже чутливі до стану атмосфери та гідросфери. Після того, як адаптаційна здатність знижується або порушується, рослина буде проявляти зовнішні симптоми пошкодження, які можуть бути використані для вказівки на те, що рослина піддається певним стресовим факторам.

У зв'язку з необхідністю глобального спостереження використання індикаційних можливостей біологічних об'єктів стає все більш важливим. Рослини-індикатори можна використовувати як для виявлення окремих забруднюючих речовин, так і для моніторингу загального стану навколишнього середовища.

Фітоіндикація – складова частина екологічного моніторингу – системи спостереження за станом навколишнього середовища на певній території (від ділянки суші чи водної поверхні до цілого материка) з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони природи. Біологічний моніторинг включає спостереження за станом навколишнього середовища та факторами дії, а також прогнозування змін у навколишньому середовищі та оцінку його майбутнього стану. Його об'єктами є рослини та їх угруповання.

РОЗДІЛ 2

БІОМОНІТОРИНГ І БІОІНДИКАЦІЯ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Особливості біоіндикації забруднення та стану атмосферного повітря

Оскільки рослини в цілому володіють відносно високою чутливістю до дії деяких забруднюючих речовин, їх можна використовувати в якості індикаторів для виявлення забруднення і визначення його рівня, а також при здійсненні моніторингу стану забруднення атмосфери. Якщо рослини здатні накопичувати забруднюючі речовини без зміни їх хімічного складу за рахунок метаболічних процесів і якщо акумульовані речовини можуть бути легко ідентифіковані в зразках рослини, то такі види рослин можна використовувати як накопичувачі забруднення. Якщо акумуляція речовин рослинами може розглядатися як прояв впливу забруднення, то використання рослин є надзвичайно зручним для визначення рівня та складу забруднення та моніторингу ефектів впливу забруднюючих речовин.

Фіксація морфологічних відхилень рослин від норми під дією забруднюючих речовин лежить в основі біоіндикації. Метод біоіндикації базується на адекватному відбитті живим організмом умов середовища, в яких він розвивається і на зміну яких він відповідним чином реагує. Біоіндикацію широко використовують у лісовій типології, фітоценології, а також для визначення забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) та грибів (мікоіндикація). Для біоіндикації середовища застосовують і вищі рослини, а також тварин та мікроорганізми [50].

Для такого моніторингу надзвичайно важливо дотримуватися наступних умов:

1. Вплив повинен призводити до помітної реакції рослини на забруднення повітря.
2. Ефекти впливу повинні добре відтворюватися при використанні рослин генетично подібних популяцій, що гарантує репрезентативність результатів.

3. Ефекти впливу повинні характеризуватися специфічними симптомами, властивими впливу індивідуальних забруднюючих речовин.

4. Рослини повинні бути дуже чутливими навіть до надзвичайно низьких концентрацій забруднюючих повітря речовин.

5. Рослини повинні добре рости і бути стійкими до захворювань, впливу комах.

В теперішній час відомо декілька видів (типів) ефектів впливу забруднення повітря на рослини, котрі можна умовно розділити на ефекти гострої дії високих концентрацій за короткий проміжок часу і хронічної дії низьких концентрацій цих речовин за тривалий період. Прикладами ефектів гострого впливу є чітко помітний хлороз або некроз тканин листя, опадання листя, плодів, пелюсток квіток, скручування листків, викривлення їх стебел [58].

До ефектів хронічної дії відноситься сповільнення або зупинка нормального росту і розвитку рослин (що обумовлюють, зокрема, зменшення об'єму біомаси, зниження врожаю сільськогосподарських культур); хлороз і некроз верхівок листя; повільне в'янення рослини або її органів. Іноді прояви хронічної або гострої дії можуть бути специфічними для окремих забруднюючих речовин або їх поєднання.

Доволі багато різних видів рослин можна використовувати в якості індикаторів або накопичувачів забруднення повітря через їх здатність до прояву ефектів впливу. Наприклад, для цих цілей можуть бути використані епіфітні види лишайників, мохи, папороті, вищі форми рослин, що мають судинну систему. Для біологічного моніторингу ефектів забруднення повітря придатні як дикорослі, так і культурні види рослин. Проте різниця в складі ґрунтів, ґрунтових вод та інші фактори (включаючи кліматичні) можуть вплинути на ефекти впливу забруднення повітря, що спостерігаються в різних районах. Через це доцільно вибирати такі індикаторні або акумулюючі види рослин, умови зростання яких найбільш близькі (до них відносяться стан ґрунту, ґрунтових вод та інші). До теперішнього часу з цією метою звичайно використовувались вищі рослини. Наприклад, в Нідерландах та Великобританії - культура тютюну *Bel W3*, в Німеччині - пересаджані види лишайників. Деякі види та культури дикорослих та культивованих рослин, чутливі до дії одного або кількох забруднюючих речовин, можуть ефективно використовуватися на мережі станцій

моніторингу.

Рослинний покрив як важлива складова біосфери відображає її загальний стан і перебіг майже усіх процесів, що відбуваються на планеті. Життя на Землі було б неможливе без безперервного процесу фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин, які є основним стабілізатором вуглекисло-кисневого балансу повітряного басейну. Рослини як важливий компонент біогеоценозу помітно впливають на інші його елементи, сприяють формуванню ґрунтового покриву, впливають на хімізм ґрунту і його родючість, а також на життя усіх тварин і живих організмів, одночасно реагуючи на всі зовнішні фактори [25].

Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактору протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини. Внаслідок некрозу (загибелі тканини) її колір змінюється від металево - сірого до коричневого, а в процесі старіння вона може втратити колір або вигоріти. Хронічне ушкодження рослин виникає і внаслідок дії невеликих концентрацій певних речовин протягом тривалого часу. До ознак хронічного ушкодження належать бронзове зафарбування листя, хлороз (знебарвлення), їхнє передчасне старіння. Відомо, що живі організми і рослини здатні поглинати певні забруднюючі речовини в особливо великих кількостях, тобто в них процеси накопичення або концентрування відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі.

За особливостями реакції на вплив забруднювачів рослини поділяють на рослини-індикатори й рослини-монітори.

Рослина-індикатор – рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються при впливі фітотоксичної концентрації забруднюючих речовин або їх суміші. Рослина-індикатор є хімічним сенсором, який може виявити в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за нею не дають змоги отримати дані про її кількість.

Поява у рослин типової ознаки ушкодження вказує на наявність у повітрі забруднюючої речовини або її суміші. Зважаючи на важливість кількісної оцінки,

особливо інформативними є організми, які у певний спосіб реагують саме на кількість забруднювача у довкіллі, тобто рослини-монітори.

Рослина-монітор – рослина, за ознаками ушкодження на якій можна отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі.

Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактору протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини.

Озон (O₃) - газоподібна забруднююча речовина, яка утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон потрапляє в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім середовищем. Найбільш чутливе до дії озону листя, яке формується, але найпомітніше він уражає старі листки рослини. Загальною ознакою ураження рослин озоном є плямистість, яка вказує на його гостру дію. Ознаки ушкоджень рослин озоном різні й залежать від виду та сорту рослини, концентрації озону, часу експозиції (дії світла), а також від багатьох інших факторів. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину - поява цяточок, які з часом зливаються й утворюють плями на поверхні листка. Цяточки можуть бути білими, чорними, червоними або червонуватопурпуровими. За низьких концентрацій O₃ листя набуває червоно-бурого або бронзового кольору що, як правило, призводить до хлорозу, старіння та опадання листя. Хлороз може бути єдиною ознакою хронічного впливу озону протягом тривалого часу.

Оксиди азоту (NO_x) – газоподібні забруднюючі токсичні сполуки NO, NO₂, N₂O. У забрудненому повітрі вміст оксидів азоту зумовлює утворення озону. Однак у багатьох випадках концентрація оксидів азоту надто мала, щоб помітно ушкодити рослину. Низькі концентрації NO₂ стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Англійські вчені виявили, що оксиди азоту є основною речовиною, яка забруднює повітря в теплицях, які обігрівають вуглеводневим паливом. Гостра дія NO₂ може бути схожа з гострою дією на рослини

SO₂.

Діоксид сірки (SO₂) – забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) і деякі промислові підприємства. Її концентрація в повітрі висока поблизу джерел викидів і поступово знижується із збільшенням відстані від нього. За природних умов можливе поєднання гострої та хронічної дії SO₂. SO₂ потрапляючи на листя, окислюється до високотоксичної сполуки SO₃, а потім повільно перетворюється на сульфат SO₄, менш токсичний. При низьких концентраціях SO₂ у повітрі практично повністю окислюється до сульфату, і рослини не страждають. За високої концентрації SO₃ відбувається гостре ушкодження листя широколистяних рослин, між жилками (з'являється бурий або білий колір) або на краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки». Ознакою хронічної дії SO₂ є хлороз, або знебарвлення листя із зміною їх кольору до червонобурого; у хвойних рослин -- почервоніння голок зверху вниз. Рослини страждають за наявності концентрації SO₂ в повітрі 0,05-0,50 % при дії протягом 8 годин.

Фториди перебувають у атмосфері у вигляді газу, твердої домішки або газоподібного фториду, адсорбованого іншою твердою речовиною. Фтористий водень (HF) у вигляді газу токсичний, ніж у твердому стані. Він присутній у викидах стаціонарних джерел забруднення - плавильних заводів і заводів, які використовують алюміній. Рослинність поблизу джерел викидів страждає найбільше. Хронічна дія HF викликає у рослин хлороз уздовж прожилок листя, гостра дія HF – некроз країв листя, який починається з верхньої частини листка і поширюється до його основи, внаслідок чого листя може деформуватися або скручуватися. Однодольною рослиною, яку використовують як індикатор є гладіолус. У них колір листя змінюється від білого до бурого, починаючи з верхівки листка до основи. Чітка темно-бура смуга відокремлює мертву тканину рослини від живої. У хвойних рослин з'являються голки з «обпаленими» краями або «обпалені» повністю. Особливістю фториду є його здатність накопичуватись в листі, особливо на краях і верхівках. Для оцінки ступеня ушкодження рослин HF застосовують аналіз тканини листка [50].

Другорядними забруднюючими речовинами, які діють на рослини є аміак, бор,

хлор, етилен, пропилен, хлористий водень, соляна кислота.

Аміак (NH_3) надходить в атмосферу в результаті аварій на виробництві. Він особливо вражає рослини поблизу місця аварії. Як і у разі дії NO_x рослини ушкоджуються тільки за високої концентрації амоніаку. Найчутливішим до дії NH_3 є листя середнього віку, яке може змінити колір із тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій NH_3 зумовлює появу на нижній стороні листка глянцеватості або сріблястості.

Бор (В) - речовина сірувато-чорного кольору. Її дія на рослини, які ростуть поблизу джерел викидів, зумовлює некроз на краях листя та між жилками, а також плямистість. Листя набуває чашоподібної форми, деформується, особливо старе. Гострі ушкодження можливі на відстані до 200 м від джерела. Найбільш чутливими до дії бору є горіх сірий, клен, шовковиця, дикий виноград, а стійкі - в'яз, бузок, груша і більшість трав'янистої рослинності.

Хлор (Cl) застосовують як окиснювач. У зоні розливу хлору, внаслідок аварій при транспортуванні, рослини особливо ушкоджуються. На краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, які потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листя між жилками подібні до ознак спричинених дією SO_2 . Можлива також поява цяточок, що нагадує результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону, може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Чутливі до дії хлору гірчиця і соняшник.

Етилен (C_2H_4) – природний рослинний гормон, який утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Він позначається на процесах цвітіння, дозрівання плодів, старіння та опадання. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту і є забруднюючою речовиною. До ознак ушкоджень рослин етиленом належать погіршення їх росту, передчасне старіння та опадання листя, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, повільне розпускання листків, їх скручування.

Пропилен (C_3H_6) – ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропилену на рослину подібний до дії етилену, але його спричиняють вищі концентрації. Пропилен пригнічує цвітіння у хризантем, уповільнює вертикальний

ріст, але стимулює появу листя. Рослини, уражені пропиленом, мають менше за розміром, але товстіше листя.

Хлористий водень (HCl), безколірний димучий в повітрі газ з різким запахом) та соляна кислота (розчин хлористого водню у воді, безбарвна "паруюча" в повітрі рідина) надходять в атмосферу з локальних джерел. Типовою реакцією на дію хлористого водню є міжжилковий та краєвий хлороз, після чого настає некроз, який проявляється в зміні кольору від жовтого, бурого, червоного до чорного. Межі некротичних ділянок можуть бути від білого до кремового кольору. Ознаками uszkodження рослин аерозолем соляної кислоти вважають появу цяточок від червоно-коричневого до чорного кольору, а соляною кислотою - листову плямистість, причому плями облямовуються смугою білого або кремового кольору [50].

Тверді частинки (пил) та важкі метали. Вони проникають крізь листя або пошкоджені клітини епідермісу. Дрібні частинки можуть осідати на листках, знижуючи світлопоглинання і відповідно фотосинтез, негативно впливати на запилення квітки, розміри і стан листя.

Важкі метали з атмосфери, осідаючи на рослину або земну поверхню, мають тенденцію накопичуватися, особливо у верхніх шарах ґрунту, звідки можуть потрапити у рослину. Концентрація важких металів у ґрунті залежить від вмісту в ньому глини та органічної речовини.

Найпоширенішим металом, що може потрапляти у рослину і ґрунт, є **свинець**. Він накопичується в ґрунті, але чітких доказів відносно того, що він уражає рослину немає. Вміст його в рослинах незначний, приблизно 0,001-0,002% від ваги золи. **Цинк, кадмій, мідь**, у середині літа спричиняють міжжилковий хлороз із наступним почервонінням листя дерев, які ростуть поблизу джерела.

Ртуть – єдиний важкий метал, який перебуває в рідкому стані за нормальної температури. Вона вражає майже всі рослини. Особливо чутливою до ртуті є троянда, на листі якої з'являються бурі плями, воно жовкне, а потім опадає. Молоді бутони буріють і опадають.

Визначення вмісту важких металів в рослинах можливе за допомогою методу атомноадсорбційної спектроскопії.

Сульфат натрію трапляється поблизу целюлозно-паперових комбінатів. Дія Na_2SO_4 зумовлює уповільнений ріст і некроз листя у квасолі, зменшення висоти кущів помідорів, які вирощують у теплицях.

У повітрі, яке оточує рослини за звичайних умов, міститься кілька потенційних фітотоксичних забруднювачів. Суміші забруднюючих речовин можуть спричинити ті самі ушкодження рослин, що й окремі забруднювачі, а суміш газів може змінювати порогову чутливість рослин. Суміш **озону і діоксиду сірки**, схожі з ознаками ураження O_3 або SO_2 залежно від їх концентрацій. Вплив суміші позначається на люцерні, капусті, цибулі, квасолі. **Діоксид сірки і діоксид азоту**, дія цих речовин в суміші з концентраціями нижча від порогових значень для кожного газу, проявляється в ушкодженні верхньої сторони листка редьки, помідорів, соєвих бобів.

Отже, забруднення довкілля хімічними сполуками призводить до часткової деградації рослинного покриву, знижуючи його біомасу та природоохоронні функції [50].

Таблиця 2.1.

Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин

Компоненти забруднень	Біоіндикатори	Ознаки
1	2	3
Фторид водню (HF)	1. Гладіолус (<i>Gladiolus gandavensis</i> cv., Snow Princess, Flowersong), Тюльпан (<i>Tulipa gesneriana</i> cv. Blue Parrot, Preludium), Касатик (<i>Iris germanica</i>) 2. Петрушка курчава (<i>Petroselinum crispum</i> varvulgare)	1. Некрози верхівок і країв листків 2. Накопичення фтору всухій речовині
Озон (O_3)	1. Тютюн (<i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel W 3) 2. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo) 3. Соя (<i>Glycine max</i>)	1. Некротичні плями сріблястого кольору наверхньому боці листка 2. Некроз верхньої частини листя

Продовження таблиця 2.1.

1	2	3
Пероксіяцетилнітрат(ПАН)	1. Кропива пекуча (<i>Urticaurens</i>) 2. Мятлик однорічний (<i>Poaannua</i>)	1.Смугасті некрози на нижній стороні листя 2.Смугасті некрози листя
Діоксид азоту (NO ₂)	1. Люцерна (<i>Medicago sativa</i> cv. Du Purts), Гречка (<i>Fagopyrum esculentum</i>) Подорожник великий (<i>Plantagomajor</i>), Горох (<i>Pisum sativum</i>),Конюшина інкарнатна (<i>Trifolium incarnatum</i>) 2. Попелиця (<i>Aphis sambuci</i>)	1. Некрози і хлорози міжжилками листків 2. Порухення енергетичного балансу, зменшення АТФ, збільшення АМФ Зниження активності ферменту малатдегідрогенази
Хлор (Cl ₂)	1. Личинки синьої мухи червоноголової (<i>Calliphoraerythrocephala</i>) 2. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i>)Квасоля (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 3. Салат (<i>Lactuca sativa</i>)	1. Підвищена смертність личинок 2. Збліднення листя 3. Деформація хлоропластів
Етилен (C ₂ H ₄)	1. Петунія (<i>Petunia nuctaginiflora</i> cv. White Joy) 2. Салат (<i>Lactuca sativa</i>), Томат (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	1. Відмирання квіткових бруньок, дрібні квітки 2. Закручування країв листя, підвищення піроксидазної активності
Радіонукліди стронцій-90, цезій-137	1. Оленячий мох (<i>Cladoniarangiferina</i>) 2. Ісландський мох (<i>Cetrariaislandica</i>)	Накопичення в сухій речовині
Фторид-іон, іони важких металів (Pb, Zn, Cd, Mn, Cu)	1. Райграс багатоквітковий (<i>Lolium multiflorum</i> cv. Optima)Полевиця повзуча и полевиця тонка (<i>Agrostis stolonifera</i> , <i>A. tenuis</i>) 2. Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)Листова капуста (<i>Brassica oleracea</i> var. acerphala) Кінський каштан (<i>Aesculus hippocastanum</i>) 3. Мохи (<i>Sphagnum</i> sp., <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Pohlia nutans</i> , <i>Pleurozium schreberi</i>)	1. Накопичення в сухій речовині 2. Накопичення в сухій речовині

1	2	3
Суміш шкідливих речовин в повітрі (оксиди сірки, азоту)	1. Виводкові бруньки <i>Marchantia polymorpha</i> 2. Листові и кущові лишайники (<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria glauca</i>), Пихта (<i>Abies alba</i>), Ялина (<i>Picea abies</i>), Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	1. Зменшення приростуклітин 2. Зниження вмісту хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i> , зменшення вмісту живихклітин водоростей 3. Зниження вмісту хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i> , зменшення віку хвоїнок ізатримка росту

2.2. Біолого-екологічна характеристика берези бородавчастої у природних та урботехногенних умовах середовища

Бере́за бородавча́ста – листяне дерево зі швидким темпом росту до 25–35 м висотою, діаметр стовбура варіює в межах 0,6–0,9 м, сягає віку 100–120 років, а у сприятливих умовах – до 150 років.

Крона широка, яйцеподібно-конічна, гладка, часто зі звисаючими гілками. У молодих дерев кора стовбура тонка, гладка з бронзово-мідним відтінком, у старих – нижня частина стовбура покрита товстою кіркою з глибокими чорнуватими тріщинами, а верхня – білою, гладкою берестою. Береста – зовнішній шар березової кори, що утворюється з багатьох легко відокремлюваних один від одного тонких, еластичних, гладких, міцних шарів, які не пропускають вологу, повітря і практично не гниють. Щорічно ці шари прирастають, кора стає товщою. Для газообміну живих тканин, що лежать під пробкою, в корі служать черевички. У міру потовщення стовбура форма черевичок змінюється. Бере́за бородавча́ста – заболонна порода, забарвлення деревини є однаковим по всьому перерізу стовбура. Деревина білого кольору, має легкий жовтуватий або червонуватий відтінок, розсіяно-судинна. Річні шари на всіх розрізах слабо помітні [45].

Коренева система потужна, добре розвинена, головний корінь відсутній. Безліч

бічних коренів розходяться майже горизонтально, близько до поверхні ґрунту, коріння середньої довжини, що досягає 6 м.

Кожної весни у берези бородавчастої відбувається сокорух, ще його називають «плач берези». Він настає в кінці березня - на початку квітня і триває до кінця квітня - початку травня.

Листки почергові довжиною від 3–4 см, досягають 7 см, черешок 2–3 см довжиною, жилок 6 – 8 пар.

Бруньки дрібні, темні, яйцеподібно-загострені, трохи клейкі. У Берези бородавчастої є два типи бруньок – вегетативні (листяні) і генеративні. Вегетативні бруньки можуть бути термінальними (верхівковими) і аксиллярними (пазушними), у яких закладається до восьми зародкових листочків. Генеративні бувають тичинковими (чоловічими) і змішаними. Бруньки, що несуть тичинкові квітки, знаходяться, зазвичай, по два-три на вершині ростових пагонів. Тичинкові й маточкові квітки утворюють суцвіття сережку, на осі якої вони розташовуються не поодинокі, а групами по 2–3 шт.; кожна така група покрита лусочкою. У маточкових квітках наявна лише 1 маточка, яка утворюється з 2 плодолистиків. Формується верхня зав'язь, вона двогнізда з двома сім'ябруньками, з яких утворюється лише одна насінина. Зимують маточкові квітки в лусочкових бруньках та стають видимими тільки у період цвітіння.

Береза бородавчата – роздільностатева однодомна рослина. Сережки вузько циліндричні: тичинкові – звисаючі, розташовуються на кінцях подовжених пагонів минулого року; маточкові – дуже тонкі, знаходяться на кінцях укорочених пагонів та стоять вертикально. Цвіте в той час, коли з'являються перші листки у березні-травні, плодоносить у серпні-жовтні. У цей період маточкові сережки стають сухими, мають світло-коричневий, а іноді й темно- жовтуватий колір, їхня довжина варіює в межах 27–40 мм, а товщина – 5– 10 мм. Сережки швидко поширюються за допомогою вітру, розкидаючи сім'янки та трьохлопасті лусочки.

Запилення береза бородавчата є анемофільним (за допомогою вітру). У період цвітіння існує інтенсивний максимум поширення пилку, він триває 2–3 дні, протягом цього часу відбувається 70–80% усього запилення. З однієї квітки утворюється приблизно 6 млн. пилкових зерен. Плодом є горішок зі світло-коричневим

забарвленням. Довжина плодів становить 3,5 мм, а їхня ширина – 2,5 мм, мають продовгувато-еліптичну форму і два крильця, які ширші за горішок у 2 рази та розташовані дещо вище його основи. Кількість плодів в одній маточковій сережці може варіювати в межах 400–700 шт.

Насіння велике, розвивається на всю порожнину плоду; насінневий зачаток антропний, звисаючий; насіннева шкірка дуже тонка, напівпрозора; зародок займає всю порожнину насіння, має овальні сім'ядолі. Насіння легке (в 1 кг міститься від 600 тис. до 1 млн. штук), за допомогою крилець розноситься вітром і, потрапляючи у вологий ґрунт, швидко проростає. Крильця насіння можуть виконувати певну роль у проростанні насіння: при висиханні поверхні шару вони «притискають» насіння до поверхні ґрунту і утримують вологу під ним. Схожість свою зберігає не більше року. А. Гранстром та Ц. Фріес у своїх дослідженнях визначили, що лише 6% насіння зберігає життєздатність через 1 рік, 3% – після 2-х років і лише 1% – через три роки. Сходи несуть дві дрібні, оголені, знизу червонуваті сім'ядолі, а пізніше – зубчасті листочки, покриті клейкими війками. У перший рік рослина виростає всього на декілька сантиметрів, але вже в 2 роки досягає висоти 25–40 см, а в 3 – від 60 до 100 см і більше. Плодоносить щорічно з 8–15 років. За даними Б. І. Коснікова, рясні врожаї у берези бородавчастої можна очікувати раз в 5–6 років, хороші – через 3–4 р., середні – після 2–3 р.

У берези бородавчастої відомо 19 форм, з яких в Україні найчастіше зустрічаються чотири:

- f. 'Dalecarlica' – високе ошатне дерево схоже на вид, проте має глибоко розрізані листки завдовжки від 4 до 8 см, черешок листка варіює від 2,5 до 4 см завдовжки, листки і верхні пагони повислі.

- f. 'Purpurea' – дерево подібне на видовий тип, однак має темно-червоні листки, восени більше бронзово-зелені.

- f. 'Tristis' – високе дерево з рівним стовбуром і тонкими гілками повислого типу, крона правильної округлої форми, листки як у видового типу. В Україні трапляється в усіх типах насаджень. Відома з 1904 р.

- f. 'Youngii' – невисоке дерево, скелетні гілки горизонтально направлені та

відігнуті назад, утворюють неправильну крону з тонких повислих гілок.

Береза бородавчаста вважається однією із найбільш світлолюбних порід. Березові деревостани швидко зріджуються, тому під пологом березняків відновлюються інші деревні породи і розвивається рясний трав'яний покрив. Береза бородавчаста здатна витримувати вплив інфрачервоного випромінювання високої інтенсивності. Зимостійка, добре переносить ранньовесняні та ранньоосінні заморозки. Добре зростає і зберігається на багатих мінеральними речовинами ґрунтах. Також може рости на дрібному торфі, гравії, кам'янистих, піщаних ґрунтах, суглинках та на чорноземі. Уникає ґрунти багаті вапняком. Соле- та газостійка.

Береза бородавчаста є хорошим мікоризоутворювачем, що збагачує ґрунти та покращує їх властивості. Тому вона може конкурувати з іншими породами та підвищувати продуктивність деревостану.

Береза бородавчаста вважається ґрунтупокращуючою породою. Активний піонер лісу на вирубках, пустищах та згарищах. Здатна швидко колонізувати незаселені території, особливо в багатьох сферах людської діяльності, де вона не бажана. Тому в деяких країнах, таких як Ірландія, вважається бур'яном.

За рахунок невибагливості до умов зростання береза бородавчаста добре зарекомендувала себе в польових захисних лісових смугах лісостепу та степу, де в жорстких умовах існує необхідність підтримання «ажурності», оскільки в чистих смугах вітер змінює умови типового лісового середовища під пологом насадження і посилює дефіцит вологи. Вона успішно переносить суворі зими степів Північного Заволжя, Західного Сибіру, Алтайського краю, Північного Казахстану, де морози сягають $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ та нижче. У лусочках бруньок берези утворюються залозки, що рясно виділяють смолисту речовину, яка захищає зародок від холоду.

Завдяки естетичним та санітарно-гігієнічним якостям, Береза бородавчаста успішно використовується в зеленому будівництві для створення групових і алейних насаджень та як солітер у парках і садах. Вид декоративний своїм витонченим листям, прозорою кроною та білою корою. У групових насадженнях значну роль має щільність насаджень. Недостатня відстань між деревами, які знаходяться всередині масиву, погіршує їхній життєвий стан.

У змішаних посадках береза бородавчаста добре себе почуває разом із хвойними видами. Домішка берези бородавчастої до соснових культур збагачує підстилку елементами живлення, прискорює процес розкладання, що сприяє інтенсифікації кругообігу біогенних елементів. Іноді, зростаючи з листяними видами, домінує, пригнічуючи їхній ріст та розвиток, тому рекомендують саджати березу бородавчасту з тіньовитривалими породами, які формують другий ярус та попереджують задерніння ґрунту, підвищують стійкість та ріст березових насаджень.

Урбанізація і внесені нею в навколишнє середовище зміни становлять предмет досліджень багатьох наук, зокрема й екології. Глобальні масштаби прискорення процесу урбанізації, що охопила країни з різним суспільним ладом і рівнем економічного розвитку, є однією з важливих особливостей нашої епохи. Мікроклімат міста характеризується своїми особливостями, на його формування, крім природних, впливають умови, створювані міською забудовою, а також функціонуванням автотранспорту, теплоелектростанцій, промислових підприємств, тобто міста представляють концентровані центри виробництва, споживання та видалення відходів, а також цілого ряду глобальних екологічних проблем.

Суттєва роль у покращенні стану урботехногенного середовища належить деревним рослинам, які виконують кліматотвірну, рекреаційну, санітарно-гігієнічну функції. У великих індустріально розвинених містах деревна рослинність – доповнення до технологічних засобів боротьби із забрудненням повітря. Проте, посилення антропогенного впливу суттєво відображається на розвитку і функціональній активності рослин та викликає швидку деградацію фітоценозів, особливо тих, що зростають у зелених зонах урбанізованого середовища, тому за відповідними реакціями кількісних змін різних параметрів можна визначити інтенсивність і значення певних чинників, а також про ступінь реагування рослинного організму на їхній вплив. Досить чітко це спостерігається у берези бородавчастої, яка чутливо реагує на погіршення умов середовища, тому її часто використовують в якості біоіндикатора стану довкілля.

За даними багатьох вчених, антропогенне забруднення призводить до варіювання багатьох показників у Береза бородавчаста на різних рівнях організації:

від клітинного до популяційно- видового. Так, наприклад, показник життєвого стану берези бородавчастої може змінюватись від 72% до 96%: у зонах середнього і слабого рівня забруднення дерева мали найвищі значення (82–96%) з переважанням кількості здорових дерев у структурі насадження, а у межах високого – найменші, тому вони віднесені до категорії «ослаблені» (72–76,6%).

Визначено, що з підвищенням рівня забруднення відбувається зниження таксаційних показників у берези бородавчастої: висота дерев поблизу промислових підприємств і в селітебній зоні в середньому була менше на 41,2% і 38,6%, а діаметр стовбура – на 20% і 22,9% відповідно, ніж у контрольному насадженні. У дослідженнях К. Є. Зав'ялова відмічено, що при високому рівні забруднення сполуками магнію середнє значення діаметра стовбура берези бородавчастої може знижуватися у 2,5 рази відносно контролю, висота дерев – у 3,2 рази, а в зоні з середнім рівнем забруднення – у 2,2 та 1,7 рази відповідно. Навіть у зонах з низьким вмістом сполук магнію біометричні показники дерев зменшувались: діаметр стовбура – на 10%, а висота – на 6%. Дослідження показують, що насадження берези бородавчастої, які зазнають шкідливого впливу вихлопних газів автомобільного транспорту й викидів промислових підприємств, спостерігається значно менший приріст стовбура за об'ємом, ніж у дерев з умовно чистих зон. З погіршенням умов середовища діаметр крони берези бородавчастої може зменшуватися до 4 м, розлогість крони – від 0,45 до 0,41.

В умовах урботехногенного середовища відбуваються зміни у однорічних пагонів берези бородавчастої. У 2016 році Т. Юсипіва визначила, що під впливом шкідливих викидів промислових підприємств та вихлопів автотранспорту зменшується товщина первинної кори стебла однорічного пагона на 18,2% та всіх його структурних компонентів: корку – на 18,8%, коленхіми – на 14,3%, корової коленхіми – на 37,5%; практично всіх елементів флоєми: ширини твердого лубу – на 26,7%, ширини вторинної кори – на 19,4%; а також деревини, серцевини: зниження радіуса ксилемної частини стебла – на 33,7%, великого діаметра – на 35,7%, а малого – на 43% [15]. Усі зміни різних тканин стебла однорічного пагона *B. pendula* відбувалися внаслідок впливу промислових емісій CO, NO_x, SO₂ і сполук важких металів,

результатом чого є зменшення діаметра стебла.

Т. І. Юсипіва та В. С. Заморена встановили, що річний приріст пагона у берези бородавчастої біля ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» був менше на 54,7%, ніж у рослин з ботанічного саду Дніпропетровського національного університету (контроль) [16]. Відповідні зміни спричинені внаслідок укорочення довжини міжвузлів на 37,2% і зменшення їх кількості за довжиною пагона – на 37,0%. У забруднених районах Вроцлава (Польща) А. Самеска-Цімерман та інші виявили, що вегетативні короткі пагони берези бородавчастої були значно довшими, ніж у деревних особин, що знаходяться на чистій території [17]. Такі результати досліджень вони пов'язують із забрудненням середовища, посухою та фотохімічною напругою. Збільшення довжини коротких пагонів запобігають регулярному тривалому їх розвитку і викликають прозорість крони дерева, а отже, і зменшення довголіття. Подібну реакцію було відмічено й внаслідок впливу хлор-лужною промисловістю на Бжег-Дольні (Польща), що також спричинило подовження вегетативних коротких пагонів. Зі зменшенням відстані насаджень до хлор-лужного заводу цей показник значно підвищувався. На цинково-свинцевому відвалі у місті Катовіце (Південна Польща) І. Франіел та А. Бабцинською у 2009 році встановлено, що у забрудненій зоні довжина коротких вегетативних пагонів берези бородавчастої (1,7 см) на відвалі була достовірно вище ($p < 0,05$), ніж на чистій території (с. Смолен, 76 км від міста Катовіце) – 0,6 см, що підтверджує попередні результати досліджень [18].

Довготривалий вплив токсичних речовин, які надходять у повітря разом з вихлопами автотранспортних засобів та викидами промислових підприємств, призводять до порушення феноритмотипів та фенофаз у берези бородавчастої, що супроводжується зміною терміну початку зимового спокою та виходу з нього. Так в урботехногенних умовах раніше всіх починає вегетувати й квітнути береза бородавчата в центрі міста, потім на околиці, пізніше всіх – у лісі. Міські насадження цього виду значно пізніше приміських починають і закінчують підготовку до зимових умов при близьких значеннях загальної тривалості даного періоду. В міському середовищі весняні фенофази та цвітіння у *B. pendula* починаються раніше на 2–7 днів порівняно з лісопарком. Причинами зсуву феноритмів рослин берези бородавчастої, є

більш теплий мікроклімат у межах міста, додаткове освітлення, які подовжують час вегетації рослин, порушення фізіолого-біохімічних перетворень у період спокою, що викликає скорочення його глибини і термінів вегетації та сприяє прискоренню процесів старіння рослин.

Особливої уваги потребують дослідження впливу забруднення на морфологічну будову листка, як одного із найбільш пластичних органів рослинного організму. Адже він один із перших потерпає від впливу шкідливих викидів, оскільки виконує найважливіші функції – фотосинтез, транспірацію й газообмін, а також виконує очисну роль в умовах високого рівня антропогенного забруднення. У придорожніх насадженнях спостерігаються вужчі листові пластинки, ніж у дерев, що знаходяться в парках. В урбанізованих умовах розміри листка берези бородавчастої у насаджень, які розташовані біля промислових підприємств, менші в середньому в 1,1–1,6 рази відносно насаджень, що знаходяться в парковій зоні.

Проведені дослідження у Фінляндії показали, що короткочасний і довгостроковий вплив підвищеними концентраціями озону на саджанці берези бородавчастої призвів до зменшення розмірів їхньої листової пластинки в першому експерименті – у 1,5–1,7 рази. З наближенням до джерела забруднення (Битківське нафтове родовище) насаджень було виявлено прямопропорційне зменшення морфологічних показників листової пластинки: довжини – від 4,65 до 4,01 см, ширини – від 3,78 до 2,96 см, площі – від 11,78 до 7,95 см², які достовірно зменшувалися відносно контрольного, як на відстані 0,5 км, так і 1 м до родовища. У рослин, що знаходяться під впливом великого техногенного навантаження відбувається зменшення ширини листової пластинки до 16%; її площі – до 17%; довжини листового черешка – до 19%. Чіткої залежності між ступенем техногенного впливу і довжиною листка виявлено не було.

Важливим показником при дослідженні морфологічних параметрів листка є флуктуюча асиметрія, оскільки вона виявляє прямі взаємодії між модульними частинами організмів.

Флуктуюча асиметрія (ФА) морфологічних структур – випадкове відхилення показників двосторонніх ознак від ідеальної симетрії. За показником рівня ФА можна

зафіксувати навіть невелику різницю між середніми значеннями морфологічних параметрів лівого і правого боків асиміляційного апарату на ранніх стадіях патологічного стану дерева, тоді як за іншими критеріями у нього ще відсутні явні ознаки пригнічення. В останні роки дослідження в цьому напрямленні з використанням берези бородавчастої набули досить широкого масштабу. Більшість науковців ФА вважають чутливим параметром до антропогенного забруднення як стресового чинника, який можна використовувати для оцінки екологічного стану навколишнього середовища.

Флуктуюча асиметрія є корисним показником стресу не тому, що вона більш чутлива до стресу, ніж фенотипічна модифікація, а тому, що вона виявляє стабільність перед стресом. У цьому відношенні це єдиний індикатор, що вирішує питання гомеостазу розвитку. Отже, якщо флуктуюча асиметрія залишається незмінною перед стресором, що впливає на ріст і розмноження, це може просто означати, що гомеостаз розвитку не був порушений.

В екологічно неблагополучному середовищі у берези бородавчастої спостерігаються структурно-функціональні зміни продихового апарату, що супроводжуються збільшенням кількості продихів і зменшенням їхніх розмірів. Це пов'язано з тим, що в умовах високого рівня забруднення у листків відбувається порушення газообміну з навколишнім середовищем. Мінливість показників різних параметрів у продиховому апараті відображає інтенсивність газообміну в умовах техногенезу. Під впливом високої концентрації озону у саджанців може бути збільшена щільність продихів від 3% до 25% на листовій пластинці. У рослин, які не піддавались дії озону щільність продихів становить 111,0–113,8 мм², а під його впливом змінювалася у межах 127,4–136 мм². Зміну потужності розвитку різних тканин листка у рослин, які знаходяться в екстремальних умовах, науковці пояснюють як порушення процесів росту і розвитку листя. У цілому, це виступає як прояв адаптивної реакції асиміляційного структурно-функціонального комплексу, що забезпечує успішне зростання берези бородавчастої в екстремальних умовах.

Окремо слід відзначити дослідження епікутикулярного воску у листках Береза бородавчата, що є надійним показником у біоіндикації стану довкілля. Так,

наприклад, Е. Беднарова та Дж. Кусера з 1997 по 2009 р. досліджували вплив окислів сірки на епікутикулярний віск у берези бородавчастої, яка росте в Рудних горах, та виявили зменшення його кількості зі збільшенням концентрації забруднюючих речовин у повітрі [51]. На початку дослідження висока концентрація окислів сірки виступала провідним антропогенним фактором навіть у літній період. Епікутикулярний віск, який виконує захисну функцію на асиміляційному апараті, потовщувався відповідно до збільшення висоти зростання насаджень. Починаючи з 2001 р. виміряні концентрації діоксиду сірки знижувалися до мінімальних значень, однак вищезгадана концентрація наземного озону з'явилася як новий чинник, що викликає пошкодження асиміляційного апарату в деревних видів. Високі концентрації наземного озону пошкодили асиміляційний апарат та призвели до руйнування епікутикулярного воску. Вищі граничні концентрації наземного озону в період з квітня по вересень негативно вплинули на асиміляційний апарат в усіх деревостанах Береза бородавчата, що знаходяться на висотах понад 800 метрів. Дослідження епікутикулярного воску було проведено й іншими вченими, що виявили негативний вплив техногенного забруднення на цей показник.

Для оцінки успішного існування рослин в урботехногенних умовах важливим є визначення вмісту фотосинтетичних пігментів рослин, оскільки саме від їхньої кількості у асиміляційному апараті деревних особин залежить інтенсивність проходження процесу фотосинтезу, необхідного для росту й розвитку рослинного організму в навколишньому середовищі. Неодноразово відмічено, що вміст пігментів у листках є чутливим параметром до впливу негативних зовнішніх факторів, особливо тих, які мають антропогенне походження. Досить виразно це відображається у рослин-біоіндикаторів, до яких відноситься й береза бородавчата.

Різноманітні зміни основних компонентів фотосинтетичного апарату берези бородавчастої пояснюється тим, що вміст пігментів залежить від типу забруднення, а також взаємодії різних забруднювачів з абіотичними факторами (висока температура, посуха, інтенсивна інсоляція і т. д.).

В останні роки особливо актуальними вважаються дослідження накопичення важких металів в асиміляційних органах рослин. Антропогенне забруднення

призводить до нестачі або надлишку певних хімічних елементів, їхнього співвідношення в різних частинах рослин, що позначається на функціональній активності дерев. На початку і при повному розгортанні листків відбувається збільшення вмісту азоту в пагонах у насадженнях поблизу промзон порівняно з зонами умовного контролю, а в період закінчення листопаду відмінностей за досліджуваним показником не спостерігалось. У листках біля промислових підприємств і на магістральних ділянках відмічається вищий показник вмісту азоту, ніж у парках. Вміст фосфору в листках берези бородавчастої є найвищим біля промислових виробництв, а найменший – біля автомагістралей. Однак, у пагонах вміст фосфору в різних зонах достовірно не відрізняється протягом усього вегетаційного сезону. Вміст калію у листках берези бородавчастої також не має достовірних відмінностей у різних типах насаджень. У м. Больцано (Італія) в листках берези бородавчастої з підвищенням рівня забруднення вміст Cu, Pb і Zn збільшувався практично у 2 рази: у придорожніх насаджень концентрація Mn була вище на 38%, Cu – на 163,2%, Zn – на 11,1%, а Pb, навпаки, нижче на 16%, ніж у контрольному насажденні [19]. Такі дослідження проводив й Дж. Супука, які отримали подібні результати. Встановлені дані свідчать про те, що накопичення важких металів у різних органах берези бородавчастої призводять зачасти до пригнічення їхньої функціональної активності, росту і розвитку [20].

Одним із найважливіших критеріїв життєздатності рослин є їхня здатність до розмноження. Успішність репродукції залежить від стану генеративної системи рослинного організму, яка є більш чутливою до впливу антропогенного забруднення, ніж вегетативні органи. Вже неодноразово підтверджувалось різними дослідженнями, що токсичні речовини різного походження негативно впливають на генеративну сферу рослин та спричиняють зниження їхньої продуктивності, що супроводжується мінливістю морфо-фізіологічних параметрів чоловічого гаметофіту, а в подальшому й зменшенням інтенсивності плодоношення та зниженням якості насіння. Так, у своїх дослідженнях Т. В. Шевцова [52] виявила тенденцію до зменшення морфометричних параметрів пилку берези бородавчастої з погіршенням стану навколишнього середовища. У великих індустріально розвинених містах помітно погіршується якість

пилку, що супроводжується збільшенням його стерильності. Дослідження П. Бессонової [53] показали збільшення кількості безкрохмальних (стерильних) пилкових зерен у берези бородавчастої від 2,6% (у контролі) до 35,1% (біля доріг з високою інтенсивністю руху автотранспорту). Б. В. Зюман та ін. зазначили, що біля «Заводу залізобетонних виробів № 2» у м. Кременчук частка безкрохмального пилку у берези бородавчастої була у 4 рази більшою, ніж у контрольному насадженні [21]. Л. Дж. Куїніка досліджувала газостійкість пилку, кожен зразок якого піддавався впливу різних атмосферних забруднювачів – CO, O₃ і SO₂ у двох різних концентраціях: перший рівень концентрації відповідав поточному атмосферному тимчасовому граничному значенню, прийнятного для охорони здоров'я людини; а другий – у 2 рази перевищував граничні показники [22]. Життєздатність пилку берези бородавчастої знижувалася під впливом високої концентрації SO₂. Важливим результатом цих досліджень є те, що навіть при низькому рівні забруднення, який нижче стандартного рівня безпеки для здоров'я людини, спостерігалось зменшення частки життєздатного пилку до 25% при максимальній концентрації газів, в той час як у контролі його було 39%. Дослідження проведені у Франції взагалі показали, що свіжозібрані зразки пилку повністю втратили свої біологічні особливості та функцію відтворення в промислових і придорожніх зонах.

Несприятливі умови середовища суттєво впливають на процес формування насіння та рівень його якості. Так, І. Франіел, А. Бабцинська при пророщуванні насіння берези бородавчастої виявили статистично значущу відмінність його схожості із забрудненої (цинково-свинцевий відвал в м. Катовіце (Південна Польща)) і незабрудненої зон (с. Смолен). Незважаючи на те, що енергія проростання в забрудненій зоні була вищою на 16,3%, рівень проростання все ж був значно меншим – на 39,9% порівняно з незабрудненою ділянкою.

2.3. Висновки до розділу

Таким чином, підсумовуючи результати досліджень різних вчених, можна констатувати, що береза бородавчата є одним з найпоширеніших видів, який

поширений по всій Північній півкулі, завдяки високій екологічній пластичності може рости в різноманітних екологічних умовах, тому часто використовується в озелененні міських територій. Високий рівень чутливості берези бородавчастої до впливу забруднюючих речовин, які надходять у атмосферне повітря разом із шкідливими викидами промислових підприємств та вихлопами автотранспорту в урботехногенних умовах, дозволяє використовувати її як об'єкт для визначення екологічного стану довкілля.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ВІННИЦЯ

3.1. Природно-кліматичні умови м. Вінниця

Місто Вінниця розташоване в Центральній Україні в межах 49°13'58" північної широти та 28°27'06" східної довготи на обох берегах середньої течії річки Південний Буг за 198 км на південний захід від столиці України м. Київ. Територія міста займає площу 113,2 квадратних кілометрів і розташована в північно-західній частині Вінницької області.

Місто Вінниця розташоване на берегах річки Південний Буг, у смузі лісостепу, в межах Українського кристалічного масиву, вкритого лесовидними суглинками переважно метаморфічного походження. Основу цього масиву складають найдавніші гірські породи – цінні будівельні матеріали: граніти, гранітоїди, мігматити, чарнокіти (вініцит), які подекуди виходять на поверхню. Змішуючись із рештками рослинного світу, вони утворюють сірі лісові ґрунти.

Рельєф

Рельєф міста сформований внаслідок взаємодії ендогенних та екзогенних рельєфоутворюючих процесів.

Рельєф є переважно рівнинним, без різких перепадів висот, з підвищенням у південно-східній частині та суттєвим пониженням в місцях розташування русла річки Південний Буг.

Максимальні висоти земної поверхні над рівнем моря у межах міста сягають 310 м і спостерігаються на Старому місті та Малих Хуторах. У різних районах Вінниці переважають абсолютні висоти дещо відрізняються. У Замостянському районі переважають висоти 240-270 м, у правобережній частині міста - 245-270 м, у Староміському районі - 270-300м. Найнижча точка земної поверхні міста 228,7 м відповідає рівню води у річці Південний Буг в 1 км нижче Сабарівської ГЕС. До

заповнення Сабарівського водосховища найнижча абсолютна висота у місті становить 225м. Поверхня Вінниці має загальний нахил на схід.

Клімат

Вінниця належить до атлантико-континентальної області помірного кліматичного поясу. На широті Вінниці взимку максимальна висота Сонця опівдні становить 17-28°, тривалість дня 8-9 годин, а влітку відповідно 54-63° і 15-16 годин. Для широти Вінниці опівдні інтенсивність радіаційного балансу при ясному небі в січні в середньому складаю 0,05 кВт/м², а в червні 0,57 кВт/м². Для грудня - січня характерний радіаційний від'ємний баланс (-13;-17 мДж/м²).

Сонячна радіація нерівномірно нагріває земну поверхню. Внаслідок цього виникає своєрідний планетарний, регіональний та внутрішньо міський розподіл атмосферного тиску. Максимум тиску в річному ході над Вінницею спостерігається в січні (983,2 гПа) та в жовтні(986 гПа), мінімум (980 гПа) - у липні. Середній річний атмосферний тиск складає 982,4 гПа стійкий, з року в рік, змінюється нечасто. Взимку тиск змінюється в ширших межах, ніж влітку [27].

Середньорічна температура повітря у Вінниці дорівнює 7,8 °С. Найнижча середня місячна температура -5,6 °С спостерігається у січні, а найвища +18°С - у липні. Отже, річна амплітуда температури повітря складає +24,1 °С. Найнижчі значення середньої добової температури повітря спостерігаються з середини грудня до початку березня, а найнижча середня добова температура (-7 °С) припадає на 9-10 січня. Середня добова температура повітря +15 °С і вище спостерігається в місті з 24 травня по 8 вересня. Найбільш висока середня добова температура +18,5 °С спостерігається в середньому з 12 липня по 12 серпня і, причому в період з 13 по 19 липня і з 7 по 11 серпня вона досягає 19,0-20,0 °С.

Протягом року найменша швидкість вітру спостерігається влітку. Найбільшу повторюваність (89%) має вітер до 5 м/с. Зі швидкістю вітру понад 5 м/с взимку пов'язані хуртовини, а навесні, влітку, восени - суховії. Сильний вітер 15 м/с і більше над Вінницею спостерігається переважно і зимовий та весняний сезони. У середньому за рік у місті спостерігається 15 днів із сильним вітром.

Середня річна відносна вологість у Вінниці складає 78%. Найбільш «сухим» є

травень. Протягом цього місяця середня відносна вологість становить 68%. Найбільш «вологим» місяцем є грудень(88%).

У Вінниці за рік в середньому випадає 630 мм опадів. Протягом року опади розподіляються нерівномірно. Основна частина (450 мм або 71%) випадає в теплу частину року (квітень-жовтень). Характерний континентальний тип річного ходу опадів з максимумом (40%) у літні місяці. Зимом випадає 18%,весною - 20%, восени - 20% від річної кількості опадів.

Водні ресурси

За схемою гідрологічного районування Вінниця знаходиться у Правобережній області достатньої водності. Тут протікає 37 річок та струмків загальною довжиною 72 км. Вони належать до басейну Південного Бугу та є його притоками та Вінничка, мають довжину понад 10 км.

Для притоки річки Південний Буг характерні незначні глибини (до 1-2 метрів) і ширина (0,5-4 м, у пригирловій частині річки Вишня - 15-25 м), невеликі швидкості течій (0,2-0,6 м/с).

Найдовшою (22 км) з малих річок є р. Вишня – права притока головної водної артерії Вінниці. Площа басейну цієї річки - 142 км². Довжина Вишні у межах Вінниці – 6,2 км. Річка Вишня має 9 приток, довжина яких не перевищує 10 км. Деякі з них маловодні і в посушливе літо частково пересихають. У межах міста р. Вишня приймає одну ліву і три праві притоки. Ліва притока Дзегцянець довжиною 2,6 км приймає лівий доплив довжиною 1,6 км. Одна з правих приток р. Вишні має довжину 900 м, друга - 7,2 (в межах міста 2 км), довжина третьої - більше 1 км (в межах міста 220 м).

Друга за довжиною (14 км) мала річка міста р. Тяжилів – ліва притока Південного Бугу. Площа водозбору річки 49,7 км². Її довжина у межах Вінниці близько 10 км. Найдовша притока річки – її правий доплив довжиною 6 км. Справа річка Тяжилів приймає також струмок із допливами загальною довжиною 1,05 км [27].

Третьою за довжиною (13 км) малою річкою міста є р. Вінничка – ліва притока Південного Бугу. Площа водозбору річки 48,2 км². Її довжина у межах Вінниці 4,3 км. На території міста річка приймає по дві правих та лівих притоки. Довжина однієї з правих приток (р. Скакунка) 2,3 км, іншої – 1,2 км. Довжина однієї із лівих приток р.

Віннички у межах міста 1,5 км. Найдовша притока р. Віннички – це одна з її лівих приток, довжина у межах міста 3,4 км.

На території Вінниці є 7 озер. Всі вони розміщені на півночі лівобережної частини міста, у межах II-III нерозчленованих надзаплавних терас Південного Бугу. Три озера знаходиться на хуторі Шевченка.

Ґрунтовий покрив

Найпоширенішими ґрунтами на території Вінниці є світло-сірі, сірі лісові та чорноземи опідзолені. Зустрічаються також чорноземи реградовані, дерново-середньопідзолисті, лучні, лучно-чорноземні та лучно-болотні ґрунти. Переважаючими ґрунтоутворюючими породами є леси та лесоподібні суглинки. Поширені також давні алювіальні та делювіальні ґрунтоутворюючі породи. За механічним складом ґрунти у межах міста крупнопилувато-легкосуглинкові, піщано-середньо суглинкові та супіщані.

Світло-сірі та сірі лісові ґрунти поширені у правобережній частині Вінниці та у її Староміському районі. Вміст гумусу у цих ґрунтах до 1,75%, реакція ґрунтового розчину кисла (рН=5,2-5,3) вони мають переважно крупнопилувато-легкосуглинковий механічний склад.

Чорноземи поширені у східній та північно-східній частинах міста. Вміст гумусу у шарі до 30 см у середньому 3,39% (127т/га), реакція їх ґрунтового розчину переважно кисла (рН=5,6-5,8).

Дерново-середньопідзолисті супіщані ґрунти переважають в північній частині лівобережжя міста, навколо долини річки Тяжилів. Ці ґрунти містять 0,8-1,3% гумусу, мають кислу реакцію (рН=4,8-5,5), незадовільній водний повітряний режим і найнижчу родючість.

Лучні ґрунти приурочені до понижених елементів рельєфу в річкових долинах. Вміст гумусу на лучних ґрунтах знаходиться у межах 2,82 - 4,23%.

Рослинний та тваринний світ

У Вінниці переважають грабово-дубові ліси. Підлісок грабово-дубових та грабових лісів формують бруслина бородавчаста, свидина, ліщина, глід. Трав'яний покрив у них утворюють осоки волосиста, гірська та парвська, зірочник лісовий,

маренка запашна, копитняк європейський.

На території Вінниці сформувались такі лучні угруповання: низинні луки, низинні болота, заплавні луки середніх і великих річок, заплавні луки малих річок і балок. Травостій низинних лук представлений мітлицею білою, ситником Жерарда, тимофіївкою лучною. Низинні болота поширені у річкових заплавах та балках. На них переважають різні види осок. До них доміщуються бекманія звичайна, очеретянка звичайна, ситник розлогий, калюжниця болотна, півники болотні. Заплавні луки Південного Бугу, що розміщені на підвищених елементах рельєфу заплави, переважно сухі, недостатньо зволожені. Травостої цих лук утворюють келерія лучна, тонконога, мітлиці, грястиця збірна, трясучка середня, маренка рожева.

Розміщення рослин у водоймі визначається, в основному, її глибиною. У найближчому до берега поясі мілководних рослин поширені сусак зонтичний, цикута отруйна, осоки пухирчата, струнка та прибережна. Далі знаходиться пояс комишів, його утворюють комиш озерний, рогіз вузьколистий, ситняг болотний, очерет звичайний. У третьому поясі переважають латаття біле, глечики жовті. Четвертий пояс (глибина 3-5 метрів) сформований рдесником блискучим та їжачою голівкою непомітною. У п'ятому та шостому поясі розвиваються виключно водорості.

Хребетні лісу представлені земноводними, плазунами, птахами та ссавцями. Серед земноводних характерними є звичайна та зелена ропухи, квакша, кумка трав'яна, гостро морда жаба. Плазуни представлені ящірками (прудка, зелена, живородяща, веретільниця) та вужем звичайним.

Поширені такі види птахів: синиця блакитна та велика, дятли звичайний, малий та сірійський, зозуля, сову вухата та сіра, шпак звичайний, сойка, сорока, чиж, зяблик, чечітка звичайна, дрозди чорний та співочий, шишкар ялиновий. Типовими для фауни ссавців лісу є буро зубки, мишовиїдні гризуни, їжаки, кроти, білки. Також представлені комахи, особливої уваги заслуговують метелики. Серед них поширені лимонниця, кілька видів голуб'янок, жалібниця, галатея, шашечниці, перламутрівки, синиці. У різних лісових екосистемах зустрічаються такі павукоподібні: кліщі, косарки, павуки [27].

3.2. Екологічний стан довкілля м. Вінниця

Атмосферне повітря є одним з основних життєво важливих елементів навколишнього природного середовища. Збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життя, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей і навколишнє природне середовище регулюються Законом України «Про охорону атмосферного повітря». Цей Закон визначає правові та організаційні основи та екологічні вимоги у сфері охорони атмосферного повітря та спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людини та природного середовища. Екологи та науковці пояснюють високу смертність від забруднення повітря в пострадянських країнах занедбаною промисловістю, яка не мала новітніх систем очищення та кондиціонування повітря. Уряд провів низку перевірок і поставив під контроль виконання виданих розпоряджень окремим виробничим підприємствам, після чого почали впроваджуватися новітні технології, які пов'язані з економією палива або використанням більш якісного палива, встановлено високоефективне очисне обладнання, що забезпечить зменшення кількості викидів забруднюючих речовин та парникових газів. Першочерговим заходом, спрямованим на зниження вмісту вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин в атмосфері, є насадження довговічних зелених насаджень, наступним – розширити використання альтернативних видів палива. Маловартісними енергоефективними заходами, спрямованими на зменшення викидів газів, які необхідно впроваджувати на кожному сучасному виробництві, є встановлення технічних засобів обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів, таких як лічильники газу, холодної та гарячої води, встановлення енергозберігаючих ламп [71].

Згідно зі статистичними даними, протягом року в навколишнє природне середовище Вінницької області від стаціонарних джерел забруднення потрапляє приблизно 100 тис. тонн забруднюючих речовин. Значна частка – 73,9% (73,7 тис.

тонн) викидів забруднюючих речовин припадає на м. Ладижин. Крім того, високий відсоток у розподілі викидів до загального обсягу припадає на Тульчинський (4,5%), Тростянецький (3,7%) райони та м. Вінницю (2,9%). Обсяг викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел на квадратний кілометр території області становить 3,8 тонни. Найбільша щільність викидів забруднюючих речовин на квадратний кілометр припадає на м. Ладижин – 3349 т, а також на м. Вінницю (42 т), Жмеринку (17 т), Хмільник (9,4 т), Козятин (7,0 т) та на Тростянецький і Тульчинський райони (по 4,0 т). В середньому по області на одного жителя викидається 64 кг забруднюючих речовин. Основними забруднювачами повітря в області є підприємства енергетичної промисловості, сільського господарства, переробної промисловості, а також підприємства транспорту. Забруднення атмосферного повітря важкими металами в м. Вінниці відбувається переважно за рахунок автотранспорту [68].

Пункти Вінницького обласного ЦГМ враховують сумарне забруднення від усіх джерел викидів, розташованих на певній території. Основними забруднюючими речовинами, які характеризуються перевищенням допустимих гігієнічних нормативів якості атмосферного повітря, є такі:

- пил;
- діоксид сірки;
- діоксид азоту;
- оксид вуглецю;
- оксид азоту;
- формальдегід;
- аміак;
- фтористий водень [74].

У серпні систематичні спостереження за вмістом шкідливих речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця проводились лабораторією спостережень за забрудненням атмосфери (ЛСЗА) Вінницького ЦГМ на двох стаціонарних постах (ПСЗ): ПСЗ №1 розташований по вулиці Київська, 25; ПСЗ№2 – на Немирівському шосе, 29.

В атмосферному повітрі виявлено 15 забруднюючих речовин, з яких основними

є завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю та діоксид азоту, а специфічними – фтористий водень, аміак, формальдегід та вісім важких металів (залізо, кадмій, марганець, мідь, нікель, свинець, хром, цинк).

Стан забруднення атмосферного повітря оцінювали шляхом порівняння з відповідними гранично допустимими концентраціями (ГДК) речовин у повітрі населених пунктів.

У серпні в атмосферному повітрі міста спостерігався помірний вміст діоксид азоту (речовина 3 класу небезпеки), фтористого водню (речовина 2 класу небезпеки) та формальдегіду. Загалом по місту середня за серпень концентрація по діоксид азоту перевищувала ГДК с.д. у 1,9 рази, по фтористому водню – у 0,8 рази, формальдегіду 1,8. На ПСЗ № 2, що по Немирівському шосе, 29, середньомісячна концентрація діоксиду азоту перевищувала ГДК м.р. у 1,5 рази, по фтористому водню – у 0,9 рази. На ПСЗ №1 по діоксиду азоту - у 2,3 разів, по фтористому водню – у 0,7 раз, формальдегіду 1,8 (табл. 3.1) [69].

Максимальні концентрації досягали 1,6 ГДК на рік. по діоксиду азоту та 1,1 ГДК м.р. для фтористого водню і 1,0 для завислих речовин (табл. 3.2). Кількість випадків перевищення ГДК за рік по діоксиду азоту 7 та фтористому водню 5.

Середньомісячні та максимально-разові концентрації інших забруднюючих речовин не перевищували відповідних санітарно-гігієнічних нормативів. Вміст важких металів у повітрі був значно нижчим від рівня відповідних ГДК с.д.

За індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗП) загальний рівень забруднення у серпні по місту характеризувався як підвищений і становив 5,6. На першому посту були вищі середньомісячні концентрації діоксиду азоту, а на другому – фтористого водню.

Порівняно з серпнем 2021 року середні концентрації забруднюючих речовин по м. Вінниці залишились без змін – сірчистого газу. Вміст діоксиду азоту зменшився, а також формальдегіду та оксиду вуглецю. Зважені речовини та формальдегід незначно зросли (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Середньомісячні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця за серпень 2022 року і в порівнянні з серпнем 2021 року.

Домішки	Номери ПСЗ		По місту	
	1	2	2022 рік	2021 рік
	середньомісячні концентрації в кратності ГДК			
завислі речовини	0,5	0,5	0,5	0,4
діоксид сірки	0	0	0	0,0
оксид вуглецю	0,2	0,2	0,2	0,3
діоксид азоту	2,3	1,5	1,9	2,3
фтористий водень	0,7	0,9	0,8	2,0
аміак	не визначається	0,3	0,3	0,2
формальдегід	1,8	не визначається	1,8	1,2

Максимальні концентрації забруднюючих речовин у серпні порівняно з 2021 роком по оксиду вуглецю дещо знизилися. Діоксид сірки та фтористий водень залишилися без змін. Збільшено граничні концентрації діоксиду азоту, формальдегіду, аміаку та завислих речовин (табл.3.2) [69].

Таблиця 3.2.

Максимальні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця за серпень 2022 року і в порівнянні з серпнем 2021 року.

Домішки	Номери ПСЗ		По місту	
	1	2	2022 рік	2021 рік
	максимальні разові концентрації в кратності ГДК			
завислі речовини	1,0	0,8	1,0	0,4
діоксид сірки	0	0	0	0
оксид вуглецю	0,2	0,2	0,2	0,4
діоксид азоту	1,6	1,4	1,6	1,5
фтористий водень	1,1	1,1	1,1	1,1
аміак	не визначається	0,2	0,2	0,1
формальдегід	0,6	не визначається	0,6	0,5

3.3. Основні джерела забруднення атмосферного повітря міста Вінниця

Забруднення атмосферного повітря - будь-яка зміна складу і властивостей повітря, що негативно впливає на здоров'я людей і тварин, стан рослинності та екосистеми і полягає у викиді в атмосферу хімічних речовин, твердих часток і біологічних матеріалів, які можуть завдати шкоди людині та іншим живим організмам. Часто вплив забруднювачів є непрямим і проявляється лише через тривалий час, наприклад, деякі речовини здатні зменшувати товщину озонового шару, впливаючи таким чином на більшість екосистем Землі.

Чисте повітря є одним із факторів, що визначає якість навколишнього середовища та рівень здоров'я населення. Але після промислової революції якість повітря, яким ми дихаємо, помітно погіршилася, в основному через антропогенної діяльності людини. Розвиток міської інфраструктури, промисловості та збільшення виробництва електроенергії, інтенсивне зростання інженерно-будівельних робіт та кількості автотранспорту на дорогах – усе це сприяє забрудненню повітря та, у свою чергу, призводить до серйозних проблем зі здоров'ям. [37].

Стан атмосферного повітря залежить, перш за все, від обсягів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел. У м. Вінниця фонове забруднення атмосфери формують викиди забруднюючих речовин від технологічних процесів на підприємствах промисловості, сфери обслуговування тощо та від автотранспорту. Значну частку забруднення атмосфери складають викиди шкідливих речовин від автомобілів. Вплив системи «автомобіль – дорога» на навколишнє природне середовище в місті значно більший, ніж промисловості та теплоенергетики, що зумовлено великою кількістю автотранспорту, наявністю великих площ доріг і вулиць. Викиди автотранспорту представлені вихлопними газами (після згоряння палива), картерними газами (суміш палива з парами мастильних матеріалів) і випарами палива, що надходять у повітря з паливних баків, карбюраторів і систем живлення двигуна. Найбільш істотними компонентами викидів є оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, сполуки сірки, тверді частки (сажа) [72].

Також необхідно враховувати вплив викидів підприємств м. Вінниця – у 2019

році по місту викинуто 2,9 % від загальних обсягів викидів від стаціонарних джерел по області, в розрахунку на 1 км² – 42 т та на 1 мешканця – 7,79 кг.

Рухомі джерела викидів (автомобільний, залізничний, річковий транспорт та промислове обладнання) залишаються потужним забруднювачем навколишнього середовища в регіоні. У 2019 році, за статистичними даними, викиди від автотранспорту склали 65,2 тис. тонн (40% від загального обсягу викидів). У Вінницькому районі частка викидів від автотранспорту в загальному обсязі викидів складала понад 75%. За останні роки обсяги викидів в області становили 4% від загальних викидів пересувними джерелами області[73].

В таблиці 3.3 наведено основні стаціонарні джерела забруднення повітря у місту.

Таблиця 3.3.

Перелік основних стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря

№	Назва підприємства	Фактичне місцезнаходження, адреса	Загальний обсяг викидів ЗР, т		
			2018	2019	2020
1	2	3	4	5	6
1	ПрАТ «Вінницький олійножировий комбінат»	м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 26	928,8	976,4	787,9
2	КП «Вінницяоблтеплоенерго»	м. Вінниця, вул. Вишнева, 24	82,5	93,7	88,6
3	ПрАТ «Будматеріали»	м. Вінниця, вул. Данила Нечая, 56	120,4	128,2	170,8
4	КП ВМР «Вінницяміськтеплоенерго»	м. Вінниця, вул.600-річчя, 13	519,4	679,7	477,3
5	ТОВ «Барлінек інвест»	м. Вінниця, вул. Чехова, 7 В	91,8	138,1	222,5

1	2	3	4	5	6
6	ТОВ «АВІС»	м. Вінниця, вул. Пирогова, 150	37,4	16,2	13,6
7	ПрАТ «Вінницька кондитерська фабрика»	м. Вінниця, вул. Гліба Успенського, 9	55,5	69,0	81,9
8	КП «Вінницяоблводоканал»	м. Вінниця, вул. Київська, 173	63,6	65,7	69,4

За даними Вінницького обласного ЦГМ та ДУ «Вінницький лабораторний центр МОЗ України» здійснено аналіз розподілу концентрацій забруднювальних речовин уздовж доріг міста Вінниця [74]. Результат аналізу приведено у вигляді тематичної карти, яка підтверджує підвищені концентрації на пунктах, які розташовані поряд з основними дорогами міста (рис. 3.1):

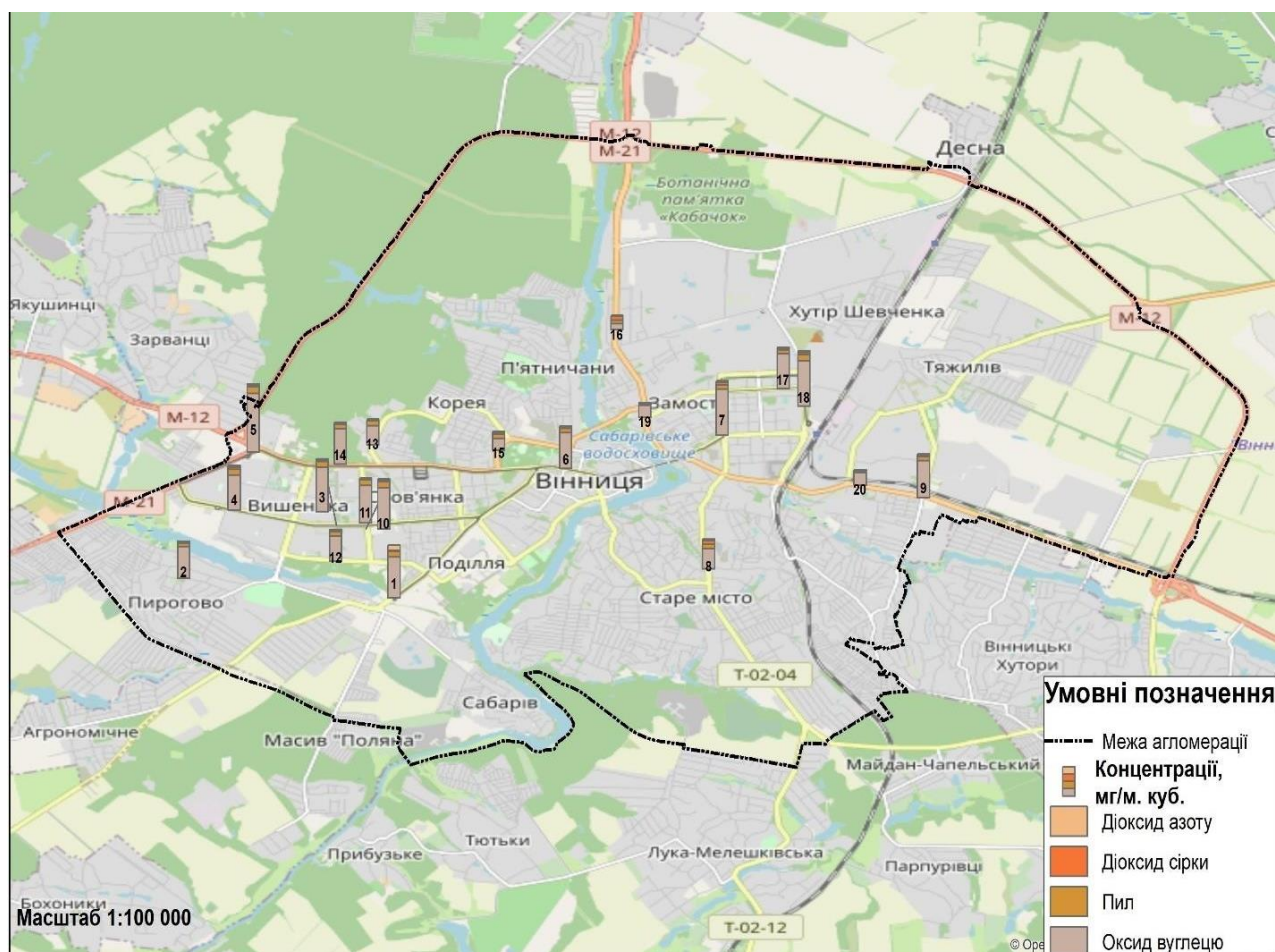


Рис. 3.1. Тематична карта розподілу концентрацій забруднювальних речовин уздовж доріг

3.4. Висновки до розділу

Отже, в ході аналізу стаціонарних та рухомих забруднювачів атмосферного повітря у місті Вінниця було визначено, що основними джерелами забруднення атмосферного повітря є транспортні засоби. Також було наведено порівняльну характеристику концентрацій забруднювальних речовин за серпень 2021 та 2022 рр.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ М. ВІННИЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ АСИМЕТРІЇ ЛИСТКІВ БЕРЕЗИ БОРОДАВЧАСТОЇ

4.1. Методика проведення дослідження

Для дослідження морфометричних параметрів листків збір матеріалу проводився після закінчення інтенсивного росту листя (кінець липня – початок серпня), на кожній ділянці було зібрано по ± 40 шт., листки збирали з нижньої частини крони приблизно однакового розміру з максимальної кількості доступних гілок на рівні піднятої руки, всі листки упаковувались в поліетиленовий пакет, у нього поміщали етикетку з назвою місця і дати збору. Для вимірів довжини черешка, довжини і ширини листкової пластинки використовували вимірювальний циркуль, яким знімали показники, та лінійку, також для вимірювання кута між жилками використовувався транспортир.

Рівень ФА листка визначали за методикою В. М. Захарова. З кожного екземпляра знімали показники за п'ятьма ознаками з лівого і правого боків листка (рис. 4.1.). Заміри 1–4 здійснювалися вимірювальним циркулем та лінійкою, значення отримували у см, кут між жилками (5) – транспортиром, показники відмічалися у градусах.

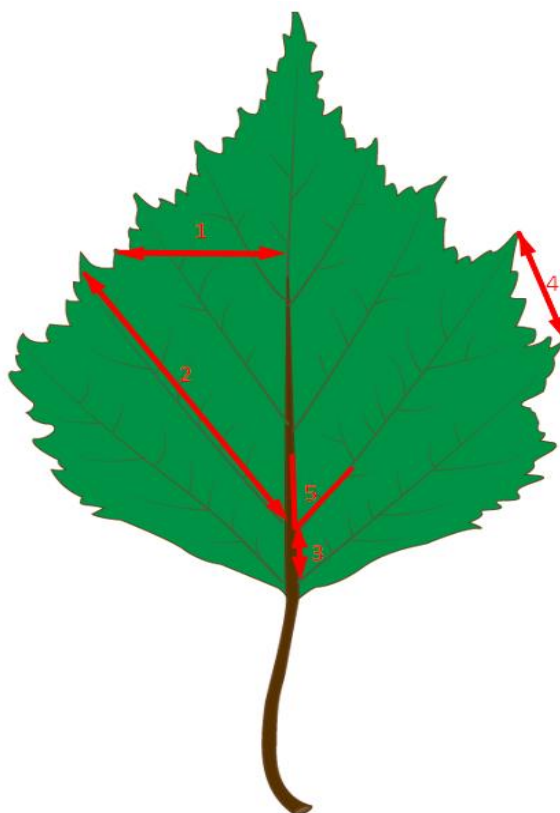


Рис. 4.1. Параметри вимірів листків

Листки вимірювалися за наступними параметрами з обох сторін (рис. 4.1.):

1. ширина половини листка;
2. довжина другої від основи листка жилки другого порядку;
3. відстань між основою першої та другої жилок 2 порядку;
4. відстань між кінцями першої та другої жилок 2 порядку;
5. кут між основною жилкою і другою від основи листка жилкою другого порядку.

Розрахунок коефіцієнту асиметрії листків проводився за формулами, запропонованими В.М. Захаровим. Величину асиметрії у рослин визначали як різницю в вимірах зліва і справа, віднесену до суми вимірів на двох сторонах. Спочатку для кожного листка за кожною ознакою розраховували відносні величини асиметрії. Для цього згідно формули 4.1, де A_i – відмінність у вимірах кожної з п'яти ознак, модуль різниці між вимірами зліва ($X_{л}$) і справа ($X_{п}$) ділили на суму цих же вимірів:

$$A_i = \frac{X_{л} - X_{п}}{X_{л} + X_{п}}, \quad (4.1)$$

За допомогою значень ФА за кожною ознакою було обчислено показник асиметрії для кожного листка (B_i), підсумовуючи їх, отримане значення ділили на кількість ознак ($N=5$), формула 4.2:

$$B_i = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{N}, \quad (4.2)$$

Після цього обчислили значення коефіцієнту асиметрії для кожної дослідної ділянки (X_i) за формулою 4.3, де q – кількість листків:

$$X_i = \frac{B_1 + B_2 + \dots + B_q}{q}, \quad (4.3)$$

Отримавши середнє значення коефіцієнту асиметрії листків можна зробити висновки про якість повітря на певній території відповідно до 5-ти бальної шкали якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин (для берези бородавчастої) (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Балова система якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин (для берези бородавчастої)

Кількість балів	Коефіцієнт асиметрії (X_i)	Характеристика повітря
1 бал	До 0,055	Чисте повітря
2 бали	0,055-0,06	Відносно чисте повітря
3 бали	0,06-0,065	Забруднене повітря
4 бали	0,065-0,07	Сильно забруднене повітря
5 балів	Більше 0,07	Надто сильно забруднене повітря

4.2. Характеристика дослідних ділянок

Для проведення дослідження забрудненості повітря на території міста було виділено шість дослідних ділянок з різним ступенем антропогенного навантаження (рис. 4.2).

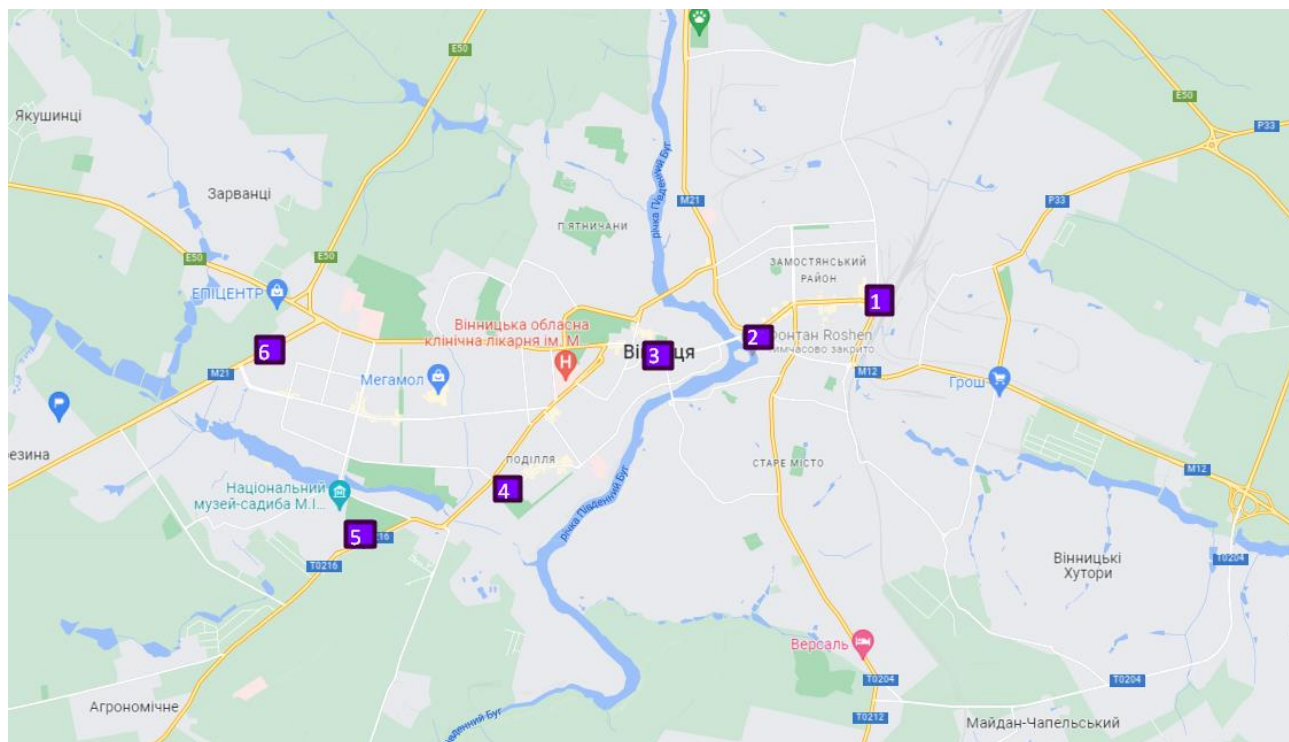


Рис. 4.2. Карта-схема дослідних ділянок

Ділянкою з найбільшим антропогенним навантаженням є ділянка № 1, яка розташована біля залізничного вокзалу, також поряд заходяться кілька автостоянок (як самостійні, так і біля торговельних центрів).

Ділянка № 2, що трішки віддалена від центру міста, друга за ступенем забрудненості, вона піддається не лише впливу автотранспорту, а також знаходиться біля ПрАТ «Roshen».

Ділянка № 3 знаходиться в центрі міста. Основний вплив на живі організми чинять викиди автотранспорту.

Ділянка № 4 розташована на території парку, біля селітебного району.

Ділянка № 5 знаходиться за межею міста, та її оточує лісовий масив.

Проте, не дивлячись на віддаленість ділянки від міста, тут спостерігається

досить інтенсивний рух автотранспорту, що пов'язано з тим, що тут проходить позаміська автомагістраль.

Ділянка № 6 знаходиться хоч і на околиці міста, але рух автотранспорту тут досить інтенсивний.

В табл. 4.2 наведена узагальнена характеристика дослідних ділянок та наведено інтенсивність руху автотранспорту по кожній ділянці.

Таблиця 4.2

Характеристика дослідних ділянок

№ ділянки	Характеристика	Інтенсивність руху автотранспорту, авто/год		x 2022/x 2021 (x)
		2021	2022	
1	Ділянка поблизу залізничного вокзалу, також поряд розташовані кілька стоянок	6132	6252	1,019
2	Ділянка поблизу ПрАТ «Roshen»	3927	4021	1,023
3	Центр міста, основне джерело забруднення – викиди автотранспорту	3705	3744	1,010
4	Ділянка на території парку, біля селітебного району	974	935	0,96
5	Ділянка, що знаходиться за межею міста, лісовий масив	2539	2756	1,085
6	Район з посиленням рухом автотранспорту	4546	4632	1,018

4.3. Аналіз результатів дослідження аеротехногенного забруднення в м. Вінниця

В результаті проведення дослідження аеротехногенного забруднення міста Вінниця було розраховано показники асиметрії (за формулою 4.2) для кожного листка берези бородавчастої на кожній ділянці за два роки. Результати представлені на рис. 4.1, рис. 4.2, рис. 4.3, рис. 4.4, рис. 4.5 та рис. 4.6.

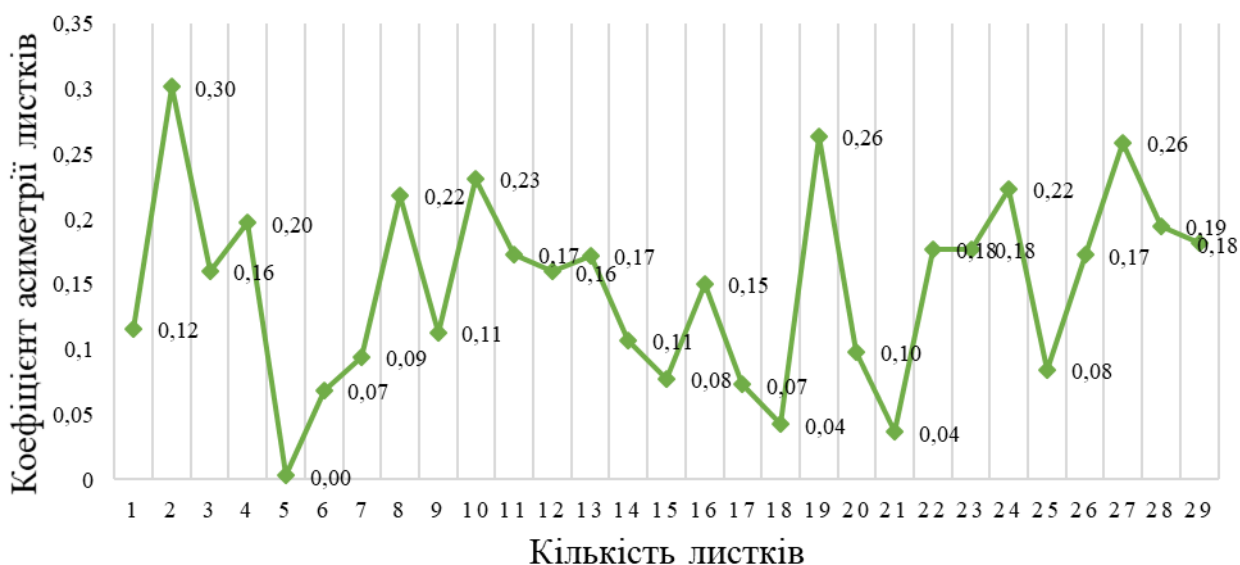


Рис. 4.3. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №1



Рис. 4.4. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №2

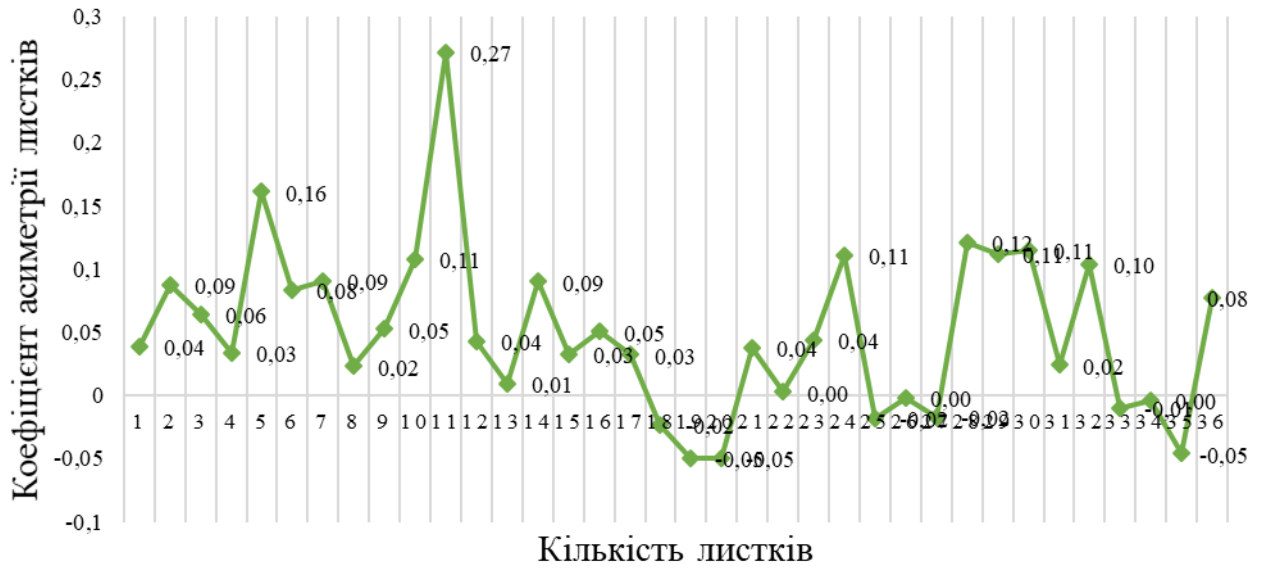


Рис. 4.5. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №3

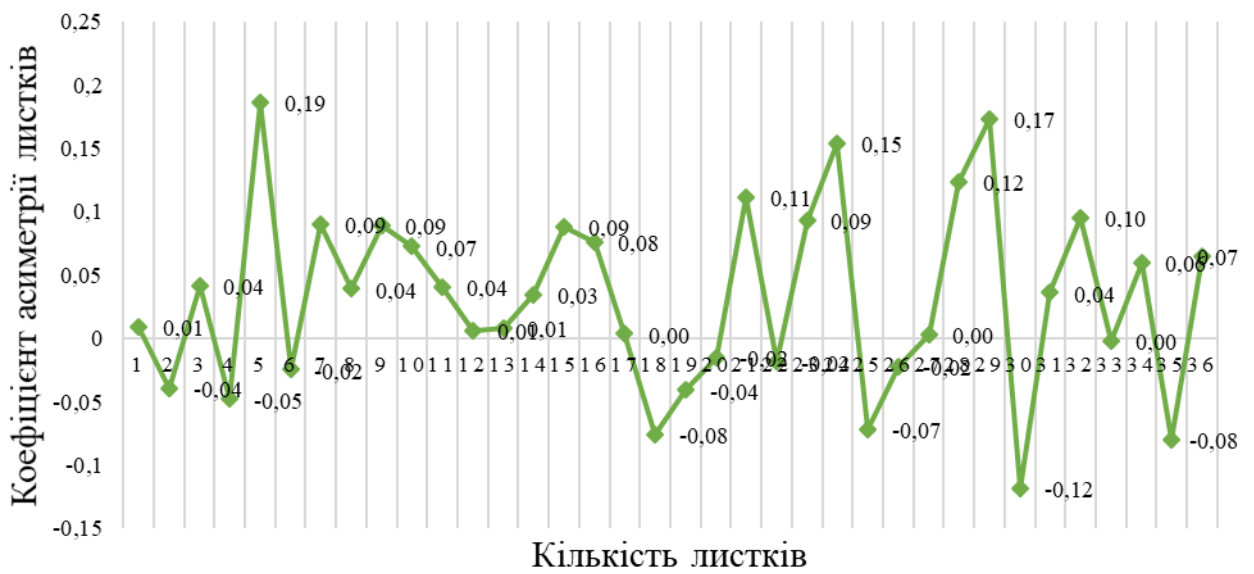


Рис. 4.6. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №4



Рис. 4.7. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №5

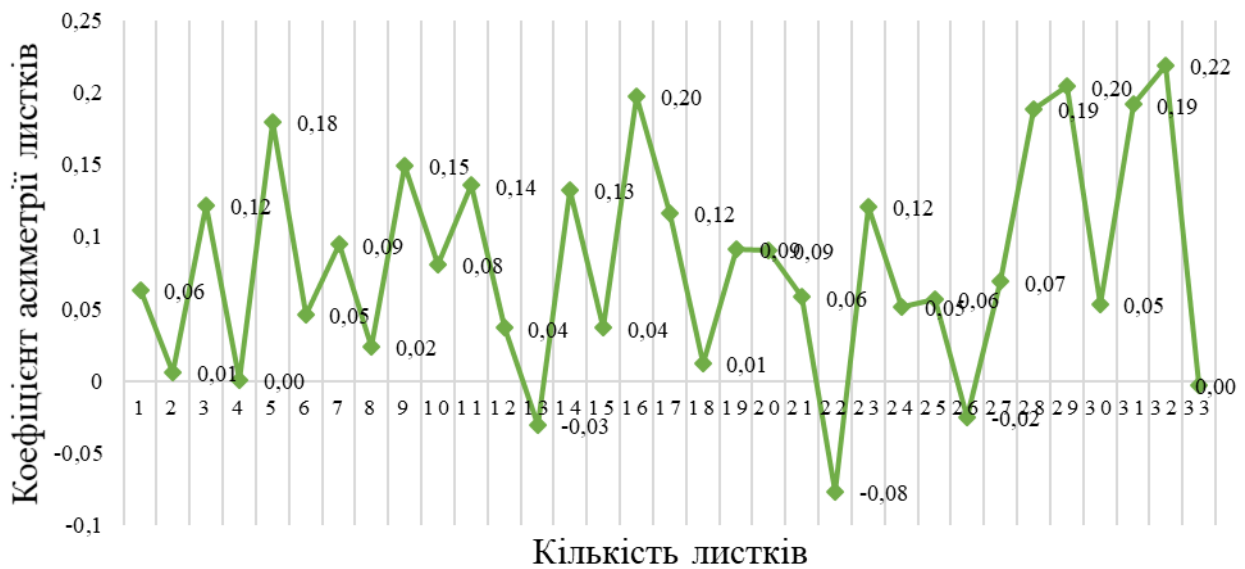


Рис. 4.8. Коефіцієнт асиметрії листків на ділянці №6

За цими результатами по формулі 4.3 було розраховано середній коефіцієнт асиметрії для кожної дослідної ділянки в 2021 та 2022 рр. та представлено на рис. 4.9, 4.10.

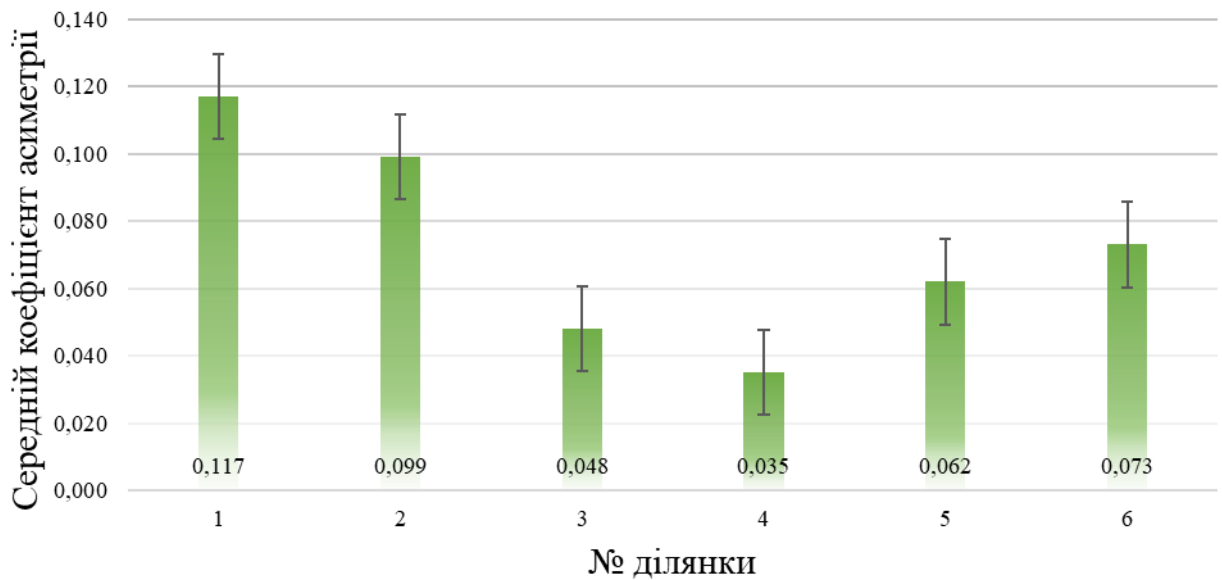


Рис. 4.9. Значення середнього коефіцієнту асиметрії листків на кожній ділянці в 2021 році

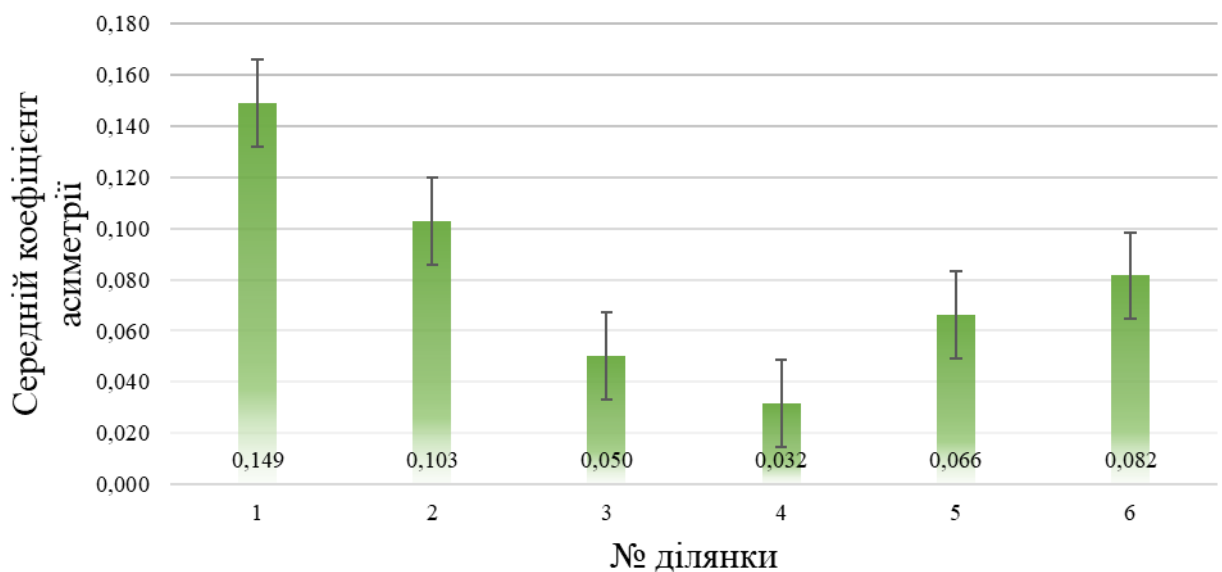


Рис. 4.10. Значення середнього коефіцієнту асиметрії листків на кожній ділянці в 2022 році

Відповідно до бальної системи якості середовища існування живих організмів за показником ФА вищих рослин (для берези бородавчастої) (табл. 4.1.) було визначено рівень аеротехногенного забруднення.

Практично по всім дослідним ділянкам (п'яти з шести) спостерігається

зростання коефіцієнту асиметрії у 2022 році у порівнянні з 2021 роком. Найбільше зростання коефіцієнту асиметрії спостерігається на дослідній ділянці № 1 (Вокзал), що можна пов'язати зі збільшенням рівня транспортного навантаження весною та влітку у зв'язку із великою кількістю переселенців у місті(таблиця 4.2).

Також збільшився коефіцієнт асиметрії на дослідній ділянці № 2, 5, 6 що також можна пов'язати зі збільшенням інтенсивності руху автотранспорту у даному районі. Незначне зменшення коефіцієнта асиметрії на дослідній ділянці № 4, можна пояснити деяким зниженням інтенсивності руху автотранспорту. Також незначне збільшення на ділянці №3.

Найменший показник коефіцієнту асиметрії у 2021 році спостерігається на дослідній ділянках №3 (0,048, що відповідає 1 балу/чисте повітря). Найбільший показник асиметрії у 2021 році на ділянці №1 (0,117, що відповідає 5 балам/надто сильно забруднене повітря). У 2022 році найбільший показник спостерігається також на ділянці № 1 (0,149 – 5 балів) і найменший показник асиметрії у 2022 році також на ділянці №3 (0,050 – 1 бал).

На рис. 4.11 можна побачити динаміку зміни коефіцієнту асиметрії в 2021 і 2022 роках.

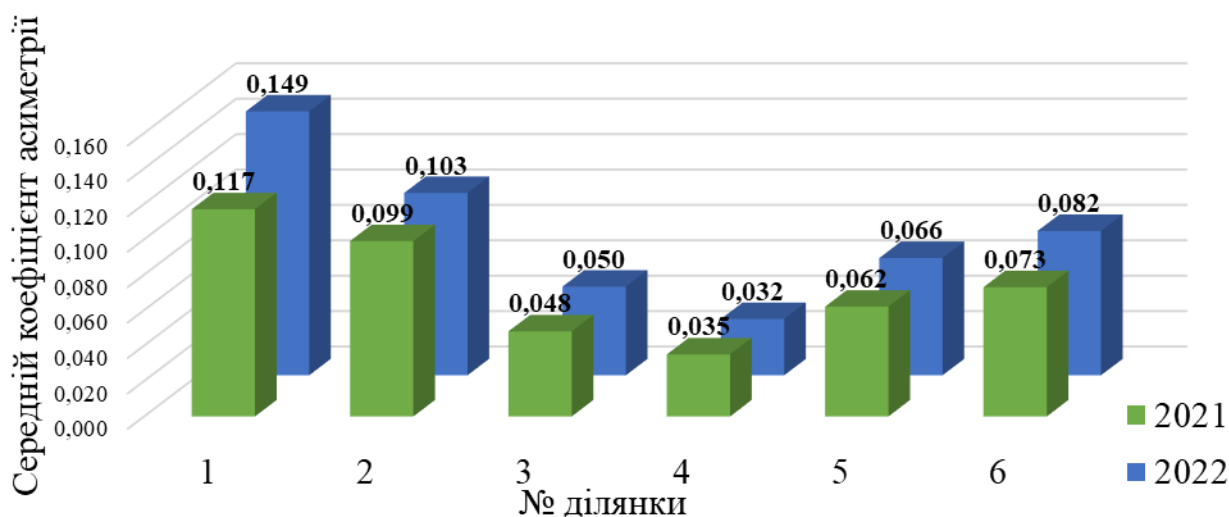


Рис. 4.11. Динаміка коефіцієнту асиметрії 2021-2022рр.

З метою визначення зв'язку між коефіцієнтом асиметрії та транспортним навантаженням було створено регресійну модель (табл. 4.4).

Таблиця 4.3.

Значення коефіцієнту асиметрії

№ ділянки	1	2	3	4	5	6
2021 р.	0,117	0,099	0,048	0,035	0,062	0,073
2022 р.	0,149	0,103	0,050	0,032	0,066	0,082
x 2022/x 2021 (y)	1,27	1,04	1,04	0,9	1,07	1,12

Таблиця 4.4.

Розрахунок параметрів рівняння регресії

№ ділянки	x 2022/ x 2021 y	x	Розрахункові величини			Теоретичне x 2022/ x 2021 \tilde{y}	Квадрат відхилень	
			yx	y ²	x ²		(\tilde{y} -y _{сеп}) ²	(y- \bar{y}) ²
1	1,27	1,019	1,299	1,623	1,04	1,075	2,84E-08	0,03937
2	1,04	1,023	1,065	1,082	1,049	1,080	1,96E-05	0,00156
3	1,04	1,010	1,055	1,089	1,021	1,066	9,40E-05	0,00050
4	0,9	0,96	0,873	0,827	0,922	1,013	3,97E-03	0,01062
5	1,07	1,085	1,16	1,142	1,178	1,145	4,80E-03	0,00578
6	1,12	1,018	1,138	1,248	1,038	1,075	7,31E-07	0,00180
Σ	6,453	6,2	6,664	7,012	6,41	6,453	0,01036	0,0596
Середнє	1,076	1,033	1,11	1,169	1,069	1,076	0,00148	0,0099

Розрахунок парного коефіцієнта кореляції ($r=0,927$) показав високий ступінь зв'язку між аналізованими параметрами.

Для визначення лінійності зв'язку визначаємо індекс кореляції i за формулою 4.4:

$$i = \sqrt{\frac{\sigma_{\tilde{O}}^2}{\sigma_O^2}} \quad (4.4)$$

де σ_{x^2} – факторна дисперсія;

σ_O^2 – загальна дисперсія.

Загальну дисперсію визначаємо за формулою 4.5:

$$\sigma_O^2 = \sum \frac{y^2}{n} - \left(\sum \frac{y}{n} \right)^2, \quad (4.5)$$

$$\sigma_O^2 = 0,011.$$

Факторну дисперсію ($\sigma_{\tilde{O}}^2$) визначаємо за формулою 4.6:

$$\sigma_{\tilde{O}}^2 = \sum \frac{1}{n} - \left(\sum \frac{y}{n} \right)^2 \cdot \frac{1}{n} \cdot (a \sum y + b \sum yx) - \bar{y}^2, \quad (4.6)$$

Для визначення факторної дисперсії слід розрахувати параметри a та b . Їх розраховуємо за формулами 4.7 та 4.8 відповідно:

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n}, \quad (4.7)$$

$$b = \frac{n \sum yx - \sum y \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}, \quad (4.8)$$

$$b = 1.054.$$

$$a = 0.0012.$$

Тоді факторна дисперсія буде дорівнювати:

$$\sigma_{\tilde{O}}^2 = 0,00489.$$

Визначаємо індекс кореляції (i) використовуючи формулу 4.4:

$$i = 0,976.$$

Якщо різниця між індексом кореляції та коефіцієнтом кореляції менше 0,1, тоді

зв'язок між аналізованими ознаками можна вважати прямолінійним:

$$i - r = 0,976 - 0,927 = 0,049.$$

Значить, зв'язок прямолінійний і можна використати в якості моделі регресійне рівняння за формулою 2.9:

$$\bar{y} = a + bx, \quad (4.9)$$

$$\bar{y} = 0,00124 + 1,053 * x$$

За допомогою рівняння 4.9 розрахували теоретичне значення x 2022/ x 2021 (y) (таблиця 4.4). Розрахунок показав, що теоретичне значення (6,453) співпадає з фактичним значенням (6,453).

Для перевірки значущості коефіцієнта регресії з використанням t -критерію Стьюдента з рівнем істотності $\alpha = 0,05$ використовуємо формулу 4.10:

$$t_b = |b| \sqrt{\frac{\sigma_0^2}{\sigma_{\delta}^2} \cdot (n - 2)}, \quad (4.10)$$

σ_0^2 розраховуємо за формулою 4.11:

$$\sigma_0^2 = \sum \frac{x^2}{n} - \left(\sum \frac{x}{n} \right)^2, \quad (4.11)$$

$$\sigma_0^2 = 0,0013.$$

$$\text{Тоді } t_b = 3,37.$$

Фактичний рівень критерію Стьюдента 3,37, що більше теоретичного рівня з рівнем істотності 0,05 (2,45), тому висновки за рівнянням регресії можна вважати правильними.

4.4. Висновки до розділу

Отже, для проведення дослідження аеротехногенного забруднення міста Вінниця було визначено шість дослідних ділянок в різних частинах міста та з різним антропогенним навантаженням. Для аналізу було зібрано листки після закінчення інтенсивного росту листя (кінець липня – початок серпня) у 2021 та 2022 роках та

проведено розрахунки, в результаті яких можна було зрозуміти ступінь забруднення повітря на кожній з шести ділянок використовуючи балову систему якості середовища існування живих організмів за показником флуктуаційної асиметрії вищих рослин (для берези бородавчастої) (табл. 4.1.). За результатами дворічного дослідження було проаналізовано зміни в якості повітря та визначено в якій частині міста найчистіше (ділянка №3) та найбрудніше (ділянка №1) повітря.

Регресійне рівняння $\bar{y} = 0,00124 + 1,053 * x$ показує залежність зміни коефіцієнта асиметрії (\bar{y}) в залежності від зміни транспортного навантаження і його можна використовувати для визначення змін інтенсивності руху транспорту в залежності від динаміки флуктуаційної асиметрії, що є важливим для діагностики стану міського середовища і дає можливість швидко та зручно визначати динаміку змін транспортного навантаження на урбоекосистеми.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника

Вимоги до мікроклімату виробничих приміщень регулюють ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. За цим документом параметри мікроклімату можуть оцінювати як оптимальні, допустимі або такі, що не відповідають санітарним нормам [63].

Робоча зона — простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників [63].

Робоче місце — місце постійного або тимчасового перебування працюючого в процесі трудової діяльності [63].

Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони — визначеного простору, де розташовані робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», до шкідливих факторів на робочому місці відносяться:

- підвищена чи занижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму робочої зони;
- підвищена чи занижена вологість повітря;
- знижена рухомість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони [61].

Коли температура навколишнього середовища знижена, активується хімічна терморегуляція — зростає кількість тепла, яке виробляє організм. Одночасно звужуються шкірні судини. Через це зменшується віддача тепла у навколишнє середовище. Коли температура навколишнього середовища підвищена, зменшується

тепловіддача внаслідок конвекції, кондукції, радіації і зростає тепловіддача через випаровування (потовиділення) вологи з поверхні тіла.

За підвищеної температури повітря від 16 до 30 °С і роботи середнього ступеня тяжкості в одягненої людини частка тепловіддачі через конвекцію і радіацію знижується з 73 до 8%. Тепловіддача через випаровування вологи зростає з 27 до 92%. Віддача тепла з поверхні тіла через конвекцію і радіацію припиняється, коли температура навколишнього середовища становить 33 °С.

На ступінь вологості повітря в робочій зоні впливає технологічний процес. Він може підвищувати її до високого рівня (понад 75% відносної вологості) або знижувати. Повітря в цехах із високою відносною вологістю, коли знижується температура, швидко насичується до 100%. Утворюється туман і конденсується пара.

Потовиділення — найефективніший спосіб самоохолодження організму. Сухість повітря сприяє випаровуванню поту. Однак за високої вологості воно неефективне, адже піт не може випаровуватися і стікає, не охолоджуючи шкіру. Саме тому високу температуру погано переносять за підвищеної вологості повітря. Одночасно, коли організм збільшує тепловіддачу, зменшується вироблення тепла, оскільки уповільнюються процеси обміну.

Висока вологість за низької температури повітря сприяє більшій тепловіддачі радіаційним шляхом — вода поглинає інфрачервоне випромінювання тіла і забирає тепло організму. За підвищеної вологості повітря людина гірше переносить високу та низьку температуру.

На тепловий обмін людини з навколишнім середовищем впливає рух повітря. За прискореного руху повітря людина легше переносить високу температуру, ніж низьку.

Швидкість руху повітря на робочих місцях коливається у межах від 0,09 до 5 м/с і більше. Це залежить від розташування і забудови виробничого комплексу на місцевості, архітектури приміщень, характеру технологічного процесу, природної та штучної вентиляції тощо.

За значного руху та низької температури повітря організм втрачає теплоту внаслідок конвекції. Віддача через випромінювання знижується. Якщо температура

повітря не перевищує температуру тіла, рух повітря збільшує потовиділення і сприяє охолодженню організму [62].

За ДСН 3.3.6.042-99, робота за комп'ютером відноситься до категорії легких робіт Іа – роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження, при яких витрата енергії дорівнює 105-140 Вт (90-120 ккал/год) [61].

В табл. 5.1. наведено оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для категорії робіт – легка робота Іа відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [61].

Таблиця 5.1

Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/сек
Холодний період року	Легка Іа	22-24	60-40	0,1
Теплий період року	Легка Іа	23-25	60-40	0,1

Згідно з ДБН В. 2.5-28:2018 ‘‘Природне і штучне освітлення’’ для загального та місцевого освітлення приміщень необхідно використовувати джерела світла з колірною температурою від 2400 К до 6800 К. Інтенсивність ультрафіолетового опромінення спектрального діапазону 320-400 нм не повинна перевищувати 0,03 Вт/м². Випромінювання з довжиною хвиль менше 320 нм не допускається.

Для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати найбільш енергоекономічні джерела світла, віддаючи перевагу при рівній потужності джерелам світла з більшою світловіддачею та строком служби з виконанням вимоги не знижувати якість освітлювального устаткування для зниження енерговитрат. Світлова віддача світлодіодних ламп має відповідати вимогам [64].

Значення освітленості в зоні периферії має бути не більше 1/3 освітленості зони безпосереднього оточення. Значення освітленості в зоні безпосереднього оточення в залежності від освітленості в зоні зорової роботи наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Значення освітленості навколишньої зони в залежності від освітленості об'єкта

Есер зони зорової роботи, лк	Есер навколишньої зони, лк, не менше
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	150
100	100
< 50	< 50

5.2. Перевірочний розрахунок для природного освітлення

Згідно з ДБН В. 2.5-28:2018 природне освітлення створюється природними джерелами світла – прямими сонячними променями і дифузійним світлом небосхилу (решта сонячних променів, розсіяних атмосферою). Приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення, яке забезпечується бічним, верхнім або комбінованим світлом.

У природному освітленні нормується коефіцієнт природного освітлення (КПО). Коефіцієнт природного освітлення (КПО) – процентне відношення природної освітленості у будь-якій точці в середині приміщення до одночасно вимірної на тому ж рівні освітленості зовнішньої горизонтальної площини рівномірно розсіяним (дифузійним) усього небосхилу [64].

Коефіцієнт світлопропускання — безрозмірна фізична величина, що дорівнює відношенню потоку випромінювання, котрий пройшов через середовище, до потоку

випромінювання, що впав на його поверхню. Коефіцієнт пропускання неактивних середовищ завжди менший від 1.

За формуло 5.1 (всі значення взято з ДБН В. 2.5-28:2018) розраховали коефіцієнт світлопропускання вікон для забезпечення бокового освітлення приміщення, де працював еколог:

$$T_{заг} = T_1 * T_2 * T_3, \quad (5.1)$$

де T_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу;

T_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

T_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях.

$$T_{заг} = 0,8 * 0,75 * 1 = 0,6$$

Отже, коефіцієнт світлопропускання ($T_{заг}$) дорівнює 0,6, це означає, що він знаходиться в межах норми, так як в неактивних середовищ він має бути менший від 1.

5.3. Пожежна безпека

Згідно з наказом №67 Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників конструкція та монтаж електричного устаткування повинні відповідати вимогам протипожежної безпеки, вибухобезпеки та захисту людей від нещасних випадків внаслідок контакту з ним [65].

Рівень пожежної безпеки робочих зон, приміщень та інженерного устаткування повинен відповідати вимогам Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МНС України від 19.10.2004 № 126, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 4.11.2004 за № 1410/10009 (НАПБ А.01.001 - 04), та інших нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки [65].

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», приміщення (офіс) обладнане персональним комп'ютером з ВДТ

належить до виробництв категорії «В» з пожежної небезпеки – простір в приміщенні, де знаходяться тверді горючі речовини та матеріали [66].

Відповідно до наказу № 25 від 15.01.2018 р. про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників будь-яке приміщення повинне бути оснащено переносними або пересувними вогнегасниками, які відповідають вимогам ДСТУ 3675-98 і ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) відповідно та сертифіковані в Україні в установленому порядку. У виробничому приміщенні може бути встановлено водяний, водопінний або порошковий вогнегасник [67].

5.4. Висновки до розділу

Таким чином, можна зробити висновки, що забезпечення безпеки праці є обов'язковою складовою в роботі еколога за персональним комп'ютером з ВДТ, так як в робочій зоні можна виділити ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що впливають на здоров'я і працездатність людини. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 на працівника діяли фізичні небезпечні виробничі фактори. В приміщенні проводяться заходи щодо дотримання усіх норм та правил протипожежної та вибухової безпеки.

ВИСНОВКИ

1. Визначено особливості застосування біоіндикаційних методів в екології та визначено місце флуктуаційної асиметрії в дослідженні довкілля. Біоіндикація — оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин тощо). Метод біоіндикаторів заснований на вивченні впливу змінних факторів зовнішнього середовища на різні характеристики біологічних об'єктів і систем. В якості біоіндикаторів вибирають біологічні системи або організми, найбільш чутливі до досліджуваних факторів. Флуктуаційна асиметрія відноситься до методів біоіндикації, заснованих на морфологічному підході. Коефіцієнт асиметрії, який визначається цим типом асиметрії, є якісним показником стану атмосферного повітря, що вказує на відхилення двосторонньої симетрії організму, які викликані змінами хімічного складу повітря (наявність у повітрі шкідливих домішок, викиди автотранспорту та підприємств тощо).

2. Визначено на території міста шість репрезентативних дослідних майданчика з різним рівнем антропогенного навантаження. Ділянка № 1 знаходиться поблизу залізничного вокзалу, також поряд розташовані кілька стоянок. Ділянка № 2 поблизу ПрАТ «Roshen». Центр міста, де основне джерело забруднення – викиди автотранспорту це ділянка № 3. Ділянка № 4 знаходиться на території парку, біля селітебного району. Ділянка № 5 знаходиться за межею міста, лісовий масив. В районі з посиленням руху автотранспорту знаходиться ділянка № 6.

3. Розраховано коефіцієнт флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої для кожної з шести ділянок за два роки та визначено, що найменший показник коефіцієнту асиметрії у 2021 році спостерігається на дослідній ділянках №3 (0,048, що відповідає 1 балу/чисте повітря). Найбільший показник асиметрії у 2021 році на ділянці №1 (0,117, що відповідає 5 балам/надто сильно забруднене повітря). У 2022 році найбільший показник спостерігається також на ділянці № 1 (0,149 – 5

балів) і найменший показник асиметрії у 2022 році також на ділянці №3 (0,050 – 1 бал).

4. Проаналізовано рівень автотранспортного навантаження на дослідних майданчиках та розраховано кореляційно-регресійну модель залежності величини коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження. За допомогою регресійного рівняння ($\bar{y}=0,00124+1,053*x$) можна побачити залежність зміни коефіцієнта асиметрії (\bar{y}) в залежності від зміни транспортного навантаження і його можна використовувати для визначення змін інтенсивності руху транспорту в залежності від динаміки флуктуаційної асиметрії, що є важливим для діагностики стану міського середовища і дає можливість швидко та зручно визначати динаміку змін транспортного навантаження на урбоєкосистеми.

5. Встановлено залежність від рівня аеротехногенного навантаження на дослідних ділянках та коефіцієнтом флуктуаційної асиметрії листків берези бородавчастої від рівня автотранспортного навантаження. Завдяки регресійній моделі було розраховано парний коефіцієнт кореляції та індекс кореляції, які дають нам визначити, що зв'язок між аналізованими ознаками можна вважати прямолінійним, так як різниця між індексом кореляції та коефіцієнтом кореляції менше 0,1. У нас він дорівнює 0,049.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шевчук В.Я. та ін. Екологічне управління: Підручник. - К.: Либідь, 2004.
2. Федоренко О.І. Моніторинг навколишнього середовища / О.І.Федоренко, О.І.Бондар, А.В.Кудін // Основи екології: підручник / О.І. Федоренко, О.І. Бондар, А.В. Кудін. – К., 2006. – С. 306-318.
3. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія: практичний курс. Частина 1. Чернівці.: Рута, 2003. – 320 с.
4. Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг / М.М.Мусієнко // Екологія рослин: підручник / М.М.Мусієнко. – К., 2006. – С. 344-404.
5. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков. – К.: Знання, 2007. – 624 с.
6. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. – К.: Академія, 2006. – 360 с.
7. Калінін М.І., Єлісеєв В.В. Біометрія: Підручник для студентів вузів біологічних та екологічних напрямків. – Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2000. – 204 с.
8. Білявський Г.О. та інші. Основи екологічних знань: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2003. – 336 с.
9. Джигирей В.С. Екологія то охорона навколишнього середовища: Навч. посібник: Для студ. вузів. - К.: Знання, 2000. - 203с.
10. Злобін Ю.А., Кочубей Н.В. Загальна екологія. Навчальний посібник. – С.: Університетська книга, 2003. – 414с.
11. Cowart N. Within- and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica* L.). / N. Cowart, J. Graham // *Int J Plant Sci.* – 1999. – Vol. 160. – P. 116–121.
12. Clarke G. Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environment origin / G. Clarke // *Acta Zool Fenn.* – 1992. – Vol. 191. – P. 31–35.

13. Скакальський О. Екологічний моніторинг у системі природоохоронної діяльності регіональної влади / О. Скакальський // Державне управління та місцеве самоврядування. – 2015. – Вип. 4. – С. 152–162.
14. Григора І.М. Основи фітоценології / І. Григора, В.Соломаха – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 240 с.
15. Юсипіва Т. Зміни анатомічних характеристик стебла однорічного пагона *Betula pendula* Roth. за дії антропогенного навантаження. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2016. Вип. 72. С. 125–133.
16. Юсипіва Т. І., Заморена В. С. Изменения биометрических параметров однолетнего побега *Betula pendula* Roth. в условиях техногенеза. Бъдщето въпроси от света на наука та: материали за VII междунар. науч. практ. конф. (17–25 декември 2011 г., София). София : Бял ГРАДБГ ООД, 2011. С. 23–25.
17. Samecka-Cymerman A., Kolon K., Kempers A. Shot shoots of *Betula pendula* Roth as a bioindicators of urban environmental pollution in Wroclaw (Poland). *Trees*. 2009. Vol. 23. 923–929. DOI: 10.1007/s00468-009-0334-z.
18. Franiel I., Babczynska A. The growth and reproductive effort of *Betula pendula* Roth in a heavy-metals polluted area. *Polish journal of environmental studies*. 2011. Vol. 20, N. 4. P. 1097–1101.
19. Heavy metal accumulation in urban soils and deciduous trees in the city of Bolzano, N Italy / Dadea C. et al. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*. 2016. Heft 15. S. 35–42.
20. Supuka J., Feriancova L., Bihunova M. Leaf impact trends of silver birch (*Betula pendula* Roth.) by allochthonous elements at Nitra town urban vegetation. *Thaiszia journal of botany*. 2008. Vol. 18. P. 37–49.
21. Зюман Б. В., Уткіна О. В., Дігтяр С. В. Оцінка токсикомутагенного фону території у зоні впливу діяльності заводу залізобетонних виробів з використанням тесту «Стерильність пилку рослин». Науковий вісник КУЕІТУ. 2013. № 1–2 (39–40). С. 114–119.

22. Elements of the polycomb repressor SU (Z) 12 needed for histone H3-K27 methylation, the interface with E (Z), and in vivo function / Rai A. N. et al. *Molecular and cellular biology*. 2013. Vol. 33, N. 24. P. 4844–4856. DOI: 10.1128/MCB.00307-13.

23. Юсипіва Т., Вегерич В. Динаміка вмісту фотосинтезувальних пігментів у листках деревних рослин у техногенних умовах зростання. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 65. С. 189–196.

24. Кучерявий В.П. *Екологія*. – Львів: Світ, 2001. – 500 с.

25. Контактні методи: біологічні методи. URL: <https://ecologyknu.wixsite.com/ecologymanual/10-4-3>.

26. Дідух Я. П. *Основи біоіндикації* / – К. : Наукова думка, 2012. – 344 с.

27. Кондратюк С. Я. Індикація стану навколишнього середовища України за допомогою лишайників: монографія /; НАН України, Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного. - К. : Наукова думка, 2008. - 336 с. : рис. - (Проект "Наукова книга" - 2007). - *Бібліогр.*: с. 293-323.

28. Глухов О. З., Машталер О. В. Біоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України /; Донец. ботан. сад НАН України. — Донецьк : Вебер, Донец. філ., 2007. — 153 с. : іл., табл. ; 21 см. — *Бібліогр.*: с. 132—153.

29. Слободян В. О. Біоіндикація: Навч. посіб. /; Ін-т менедж. та економіки "Гал. Акад.". - Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. - 194 с. - *Бібліогр.*

30. 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.

31. Глухов О. З., Прохорова С. І. Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин. *Промислова ботаніка*. 2008. № 8. С. 3–4.

32. Гончаренко І.В. *Фітоіндикація антропогенного навантаження: монографія*. Дніпро: Середняк Т.К., 2017. 127 с.

33. Кіреєва І.С., Булига Н.Б., Могильний С.М. та ін. Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря в зоні впливу міських вулиць різних категорій. *Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України. зб. тез доп. наук.-практ.*

конф., присвяченої 120-річчю з дня народження академіка О.М. Марзеєва. Випуск 5. (м. Київ, 24-25 квіт. 2003 р.). Київ, 2003.

34. Кудрявська Т. Б., Дичко А. О. Метод оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на повітря урбоекосистеми. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. №1/10 (67). С. 4–7.

35. Ольхович О. П., Мусієнко М. М. Фітоіндикація та фітомоніторинг: метод. рек. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 64 с.

36. Пляцук Д. Л. Проведення інтегральної експрес-оцінки якості атмосферного повітря в умовах зміни промислової інфраструктури регіону. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 3(6). С. 58–63.

37. Хом'як І. В., Демчук Н. С., Василенко О. М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*. 2008. № 3 (22). С. 113–118.

38. Чемерис І. А., Загоруйко Н. В., Конякін С. М. Фітомоніторинг викидів автотранспорту в умовах міського середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2013. № 3. С. 141–146.

39. Черниш Є. Ю. Методичні вказівки до лабораторних занять із дисципліни «Біотехнології». Суми: СумДУ, 2015. С. 29.

40. Швець Л. С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності пилоквих зерен різних рослин. *Досягнення біології та медицини*. 2011. №1(17). С. 41–44.

41. Краснов В. П., Шелест З. М., Давидова І. В. Фітоєкологія з основами лісівництва: навч. посіб. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2012. 476 с. URL: http://pidruchniki.com/68995/ekologiya/zabrudnennya_dovkillya.

42. Фітомоніторинг. Використання рослин у моніторингових дослідженнях. 2014. URL: <http://studcon.org/fitomonitoring-vykorystannya-roslyn-u-monitoringovyh-doslidzhennyah>

43. Біомоніторинг і біоіндикація стану повітряного середовища. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/INDL6.pdf>.

44. Bednařova E., Kučera J. Monitoring the damage to epicuticular waxes at silver

birch (*Betula pendula* Roth.) in the changing air pollution spectrum of the Ore Mountains. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*. 2011. Vol. 59, N. 5. С. 9–16. DOI: 10.11118/actaun201159050009.

45. Морфометрія пилкових зерен берези бородавчастої як індикатор якості екостану / Шевцова Т. В. и др. Питання біоіндикації та екології. 2014. Вип. 19, № 2. С. 121–138.

46. Бессонова В. П., Бессонов Є. П., Зверковський В. М. оцінка стану пилку деревних рослин в урбатехногенній екосистемі. Питання біоіндикації та екології. 2013. Вип. 18, № 1. С. 70-82. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pbte_2013_18_1_10.

47. Physiological responses of *Betula pendula* Roth growing in polluted areas / Czaja M. et al. *Ecological questions*. 2016. Vol. 22. P. 39–46. DOI: 10.12775/EQ.2015.021.

48. Tingey D. T. Bioindicators in air pollution research – applications and constraints. *Biologic markers of air-pollution stress and damage in forests*. Washington : National academy press, 1989. P. 73–80.

49. Velickovic M., Perisic S. Leaf fluctuating asymmetry of common plantain as an indicator of habitat quality // *Plant Biosystems*. – 2006. –140(2). – P. 138 –145.

50. Palmer A. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of nonnormal distributions and power of statistical tests / A. Palmer, C. Strobeck // *Acta Zool. Fenn.* – 1992. – Vol. 191. – P. 57–72.

51. Nivova D.J. Anatomical, morphological studies of *Platanus acerifolia* at various degrees of air pollution / D.J. Nivova, P.I. Dushkova, G.V. Kovacheva // *Ekologiya (Sofia)*. – 1983. – Vol. 6. – P. 35–47.

52. Franiel I. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality / I. Franiel // *Biodiv. Res. Conserv.* – 2008. – Vol. 9–10. – P. 7-12.

53. Фекета І. Ю. Фізіологія рослин. Методичні вказівки з дисципліни фізіологія рослин для студентів спеціальності 6.130400 – лісове господарство. Ужгород: Говерла, 2011. 56 с.

54. Скляр В. Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник / за заг. ред. Ю. А. Злобіна. Суми : Університетська книга, 2018. 271 с.

55. Савосько В. М., Домшина К. М., Савосько В. В. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендроценозів степу в умовах промислового міста. Питання біоіндикації та екології. 2013. Вип. 18, № 2. С. 121–133.

56. Потенціал березових деревостанів українського Полісся / Лакида П. І., Матушевич Л. М., Атаманчук Р. В., Сорока М. Г. Науковий вісник НЛТУ України. 2008. Вип. 18.6. С. 7–12.

57. Одукалець І. О. Морфолого-фізіологічні зміни деревних рослин за атмосферного забруднення. Питання біоіндикації та екології. 2011. Вип. 16, № 1. С. 54–78.

58. Kitao M., Lei T. T., Koike T. Effects of manganese toxicity on photosynthesis of the white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) seedlings. *Physiologia plantarum*. 1997. Vol. 101. P. 249–256.

59. Neverova O. A., Legoshchina O. M., Bykov A. A. Anatomy of leaves of *Betula pendula* (Roth.) affected by air emissions in industrial area of Kemerovo City. *Middle East journal of scientific research*. 2013. Vol. 17, N. 3. P. 354–358. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.03.12143.

60. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=14283

61. Лідньов А. Основні вимоги та заходи з нормалізації мікрокліматичних умов на робочих місцях. URL: https://pro-op.com.ua/article/82-osnovn-vimogi-ta-zahodi-z-normalzats-mkroklmatischnih-umov-na-robochih-mstsyah#anc_5.

62. Про затвердження Державних санітарних правил та норм: Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. №46.

63. ДБН В. 2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: https://ledeffect.com.ua/images/___branding/dbn2018.pdf.

64. Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників: затв. наказом МНС України від 25.01.2012 р. № 67.

65. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Національний стандарт України. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та

пожежною безпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007; чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 61 с.

66. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників: затв. наказом М-ва внутрішніх справ України від 15.01.2018 № 25.

67. Ecological passport of Vinnytsia region for 2019. URL: <http://www.vin.gov.ua/dep-apr/stan-dovkillia/239-ekolohichni-pasporty>.

68. Вінницький обласний центр із гідрометрології. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря міста Вінниці за вересень 2022 року № 8. URL: <https://www.vmr.gov.ua/ecology#parentHorizontalTab1>.

69. Official site of the All-Ukrainian Fund of Nature. URL: <http://wwf.panda.org/> (in Ukrainian).

70. Лисенко О.Л., Гирич С.В., Семко Т.В. Стан атмосферного повітря у Вінниці та вінницькій області: Інтелект XXI. 2020. №4. С. 86-90.

71. Архіпова Г. І., Ткачук І. С., Глушков Є. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. Вісник НАУ. 2009. № 1. С. 78–83.

72. Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії збалансованого регіонального розвитку Вінницької області на період до 2027 року, 2020. 42с.

73. Програма державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації «Вінниця» на 2021 - 2025 роки, 2021. 66с.

74. Лабораторія спостережень за забрудненням повітря міста Вінниці. URL: <https://meteo.vn.ua/structure/lsza/>.

75. Біоіндикація як метод екологічного дослідження. URL: <http://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/INDL3.pdf>.

76. Фітоіндикація та роль в оцінці довкілля. URL: https://vuzlit.com/624179/fitoindikatsiya_rol_otsintsi_dovkilliya.

77. Фітоіндикація та її роль в оцінці довкілля. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/INDL4.pdf>.

78. Фітоіндикація антропогенних впливів за морфологічними змінами рослин. URL:

https://vuzlit.com/624181/fitoindikatsiya_antropogennih_vpliviv_morfologichnimi_zminami_roslin.

79. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне: Дока-центр, 2018. – 94 с.

80. Clarke G. Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environment origin /G. Clarke // Acta Zool Fenn. –1992. –Vol. 191. – P. 31–35.

81. Shadrina E. Evaluation of Environmental Conditions in Two Cities of East Siberia. Using Bio-indication Methods (Fluctuating Asymmetry Value and Mutagenic Activity of Soils)/ E.Shadrina, Y.Vol'pert//International Journal of Biology.–2015. –Vol. 7. –P.20–32.

82. Sherry R. Developmental stability in leaves of *Clarkia tembloriensis*(Onagracea) as related to population outcrossing rates and heterozygosity/ R.Sherry, E. Lord // Evolution. –1996.–Vol.50. –P.80–91.

83. Velickovi M. Developmental stability in *Tilia cordata* leaves /M.Velickovi // Period biol. –2010.–Vol.112, No3. –P. 273–281. Рекомендує до друку Л.Д. Орлова Отримано 14.03.2018 р.