

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет плодовоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту:

Зав. кафедрою, доцент
_____ Ольга ВАСИЛЕНКО
« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Тема роботи «ВИКОРИСТАННЯ ФІТОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ
СТАНУ УРБОЕКОСИСТЕМИ М. УМАНЬ»**

Виконала – студентка 2 курсу, групи 21к-ек
Освітньої програми «Екологія»
Спеціальності 101 «Екологія»
Тюкова С.С.

Керівник – канд. с.-г. наук, доцент Василенко О.В.

Умань – 2023 року

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ФІТОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ (огляд літератури).....	5
1.1. Сутність методу біоіндикації.....	5
1.2. Фітоіндикація антропогенного навантаження за морфо метричними показниками рослин	9
1.3. Сутність методу флуктуючої асиметрії листків.....	10
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ..	13
2.1. Кліматичні та погодні умови м. Умань.....	13
2.2. Об’єкт дослідження.....	14
2.3. Методика проведення досліджень.....	15
2.4. Охорона праці при проведенні фітоіндикаційних досліджень.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	16
3.1. Дослідження біометричних характеристик листків <i>Acer platanoides</i> ..	17
3.2. Визначення інтегрального показника флуктуючої асиметрії листків <i>Acer platanoides</i> в різних районах м. Умань	22
ВИСНОВКИ.....	26
ПРОПОЗИЦІЇ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28
ДОДАТКИ.....	31

ВСТУП

Актуальність теми. Неконтрольовані викиди забруднюючих речовин антропогенного характеру становлять велику загрозу для екологічного стану навколишнього природного середовища. Тому надзвичайно важливим та актуальним завданням для науковців на даному етапі є пошук індикаторів для оцінювання стану антропогенного середовища. За мінливістю ознак та поширенням складових рослинного покриву урбосистеми можна встановити рівень забруднення ґрунтів, повітря або водойм. За допомогою рослин-індикаторів можна виявити рівень та характер забруднення атмосфери вже на початкових його стадіях, що дозволяє оцінити загальний екологічний стан міського середовища. У рослин під дією різних токсичних речовин відбуваються певні зміни анатомічного і морфологічного характеру [1].

Зважаючи на вище сказане, останнім часом активно розвивається такий напрямок оцінки стану основних компонентів середовища, як фітоіндикація. Саме фітоіндикаційні методи дають змогу об'єктивно оцінювати ступінь антропогенної трансформації екотопів, фітоценозів з метою подальшого прогнозування їх змін та розробки системи природоохоронних заходів щодо оптимізації урбосередовища.

Мета роботи. Метою роботи фітоіндикаційне дослідження стану навколишнього середовища урбоекосистеми м. Умань за допомогою методу флуктуючої асиметрії листків клена гостролистого.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

- визначення понятійного апарату проблеми дослідження;
- визначення неспрямованих незначних відхилень від симетрії листків клена гостролистого відібраних з різних за технологічним навантаженням локаціях;
- розрахунок коефіцієнту флуктуючої асиметрії;
- оцінка за бальними системами якості і безпечності середовища районів м. Умань.

Наукове та практичне значення одержаних результатів.

На основі проведених власних теоретичних досліджень досліджено якість та безпечність навколишнього середовища м. Умань за допомогою фітоіндикаційних досліджень, які ґрунтуються на визначенні неспрямованих незначних відхилень від симетрії листків клена гостролистого відібраних з різних за технологічним навантаженням локаціях.

Об'єкт дослідження – морфометричні показники *Acer platanoides*.

Предмет дослідження – морфометричні зміни фітоіндикатора *Acer platanoides* як фітоіндикаційна характеристика антропогенного навантаження на урбоекосистему м. Умань.

Апробація результатів досліджень відбулась на Всеукраїнській студентській конференції в 2023 році (додаток А).

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ФІТОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ (огляд літератури)

1.1. Сутність методу біоіндикації

На даному етапі, безумовно забруднення навколишнього середовища досягло критичних величин. Шлях подолання екологічної кризи в час глобальної урбанізації і індустріалізації оточуючого середовища полягає у його оптимізації, і головна роль у цьому процесі належить зеленим рослинам, як унікальним природним фільтрам у очищенні атмосфери, води і ґрунту від різних забруднювачів.

Тищенко А. та Спрягайло О. вважають, що у наш час активно розвивається такий напрям оцінки стану компонентів середовища як фітоіндикація. Рослини є гарними індикаторами забруднення довкілля вже на початкових його стадіях, що дає можливість оцінити екологічний стан урбоєкосистем [2].

Насамперед доцільно надати визначення терміну «фітоіндикація». Надамо визначення терміну «фітоіндикація», яке використовують Ольхович О. та Мусієнко М.: «фітоіндикація – це науковий напрямок, основою якого є оцінка екологічних факторів, або екосистем за допомогою флористичних ознак, тобто ознак видів, угруповань, їх сукупності та взаємовідносин» [3].

Насамперед, ключовими поняттями фітоіндикації є «індикат» та «індикатор». Індикати, або об'єкти індикації – це елементи географічного середовища або ті окремі його ознаки для визначення яких використовуються індикатори. Індикаторами називають окремі види рослин (або дрібніші внутрішньовидові одиниці) або рослинні угруповання, за станом яких визначають умови довкілля. Індикаційні ознаки – це особливості видів або спільнот, які є показниками цих умов [4].

Фітоіндикація, як один із напрямків біоіндикації, сформувалась ще у XIX ст. у зв'язку із необхідністю вирішення практичних завдань для визначення глибини залягання ґрунтових вод, засолення, геохімічних аномалій тощо. За останні десятиліття вітчизняними та зарубіжними авторами накопичено значний об'єм фактичного матеріалу з вивчення антропогенного впливу на різні аспекти життєдіяльності деревних рослин, мохів, фітопланктону тощо [5].

Фітоіндикація – це оцінка екологічних чинників або екосистем за допомогою флористичних ознак видів, угруповань, їх сукупності і взаємовідносин. Для них характерні швидка фізіологічна реакція (наприклад, зміна електропотенціалів у межах листа або гілки); прямий та опосередкований зв'язок з чинником (підземні води, солі, заболочування); антропогенні зміни (наприклад, надмірний полив при меліорації) тощо [6].

Фітоіндикація – це складова частина біоіндикації, яка дозволяє оцінити вплив факторів середовища за станом рослин чи характером їхньої реакції на зміни стану середовища. Методи фітоіндикації широко застосовуються в системі моніторингу. Вони мають значні переваги серед інших методів, зокрема завдяки дешевизні, можливості одночасно охопити великі території для індикації, а також відносній простоті інтерпретації результатів. За допомогою цих методів можна оцінити навіть режими тих дій, які під час спостереження мають нульову активність. Фітоіндикацію проводять на різних рівнях організації рослин – від клітинного до екосистемного [7].

Фітоіндикація є складовою частиною екологічного моніторингу – системи спостережень за станом навколишнього середовища на певній території (від ділянки суші або водної поверхні до цілого континенту) з метою раціонального використання природних ресурсів та охорони природи.

Під час оцінки екологічного стану певної території метод фітоіндикації є досить ефективним, тому що живі системи надзвичайно чутливі до змін навколишнього середовища та мають здатність реагувати раніше, ніж ці зміни стануть помітними. Перевагою фітоіндикаторів є те, що вони підсумовують усі біологічно важливі дані про навколишнє середовище і відображують його стан

в цілому; не потребують застосування дорогих методів дослідження; вказують шляхи та місця накопичення в екосистемах різного роду забруднень; дають можливість оцінити ступінь шкідливості речовин для живої природи [8, 9].

За допомогою фітоіндикації можна оцінити зміни як видового розмаїття організмів тієї чи іншої місцевості, так і їхнього хімічного складу, який відображує здатність накопичувати елементи та сполуки, що надходять з навколишнього середовища. Наприклад, оцінка зміни кількості видів рослин певної території пов'язана з тим, що найбільш чутливі до певних забруднюючих речовин види рослин узагалі зникають з біоценозу (лишайники в промислових центрах) або, навпаки, можуть збільшувати свою чисельність (синьо-зелені водорості при потраплянні у водойми забруднюючих речовин з сільськогосподарських угідь) [10].

Крім того, в наш час зростаючої трансформації рослинного покриву техногенні ландшафти посіли домінуюче положення серед природних, які чинять значний негативний вплив на оточуюче середовище. В деяких регіонах техногенні ландшафти навіть повністю замінили природні екосистеми. Одним з наочних відображень техногенного впливу на оточуюче середовище є стан його рослинного покриву.

Зокрема, процес фітоіндикації складається з декількох операцій [11]:

- вибір індикатору (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 та індикатора, а також засобу його відображення.

Рослина-індикатор є своєрідним хімічним сенсором, за допомогою якого можна виявити присутність тієї чи іншої забруднюючої речовини, але без отримання даних про її кількість. У ролі індикаторів можуть виступати рослини, які мають здатність до акумуляції у своїх тканинах забруднюючої речовини або продуктів метаболізму, утворених у результаті взаємодії рослини

із зовнішніми чинниками, такими як: важкі метали (свинець і кадмій), фтористий водень або сульфат. Унаслідок їхньої дії у рослин можуть змінюватись параметри розвитку (швидкість і якість росту, цвітіння, утворення плодів та насіння), процесів розмноження; знижуватися продуктивність і врожайність [12].

Кожен параметр окремо або їх комплекс можна використати, щоб визначити наявність забруднюючих речовин (за допомогою проведення дослідів) та у контрольованих умовах для того, щоб зіставити ознаки ушкодження або зміни у стані рослини з наявністю певної забруднюючої речовини або їх суміші.

Використання рослин-індикаторів доцільне як для виявлення конкретних забруднюючих речовин, так і для оцінки загального стану навколишнього природного середовища. Моніторинг може здійснюватися на рівні рослинних угруповань – фітоценозів, або окремих видів. Деякі анатомо-морфологічні та фізіолого-біохімічні ознаки рослин також можуть слугувати критерієм кількості поглинутого рослинами токсиканта.

При оцінці стану навколишнього природного середовища методом фітоіндикації важливо враховувати тип ґрунту та його характеристики: вміст поживних речовин, відсоток зволоження, топографічні та метеорологічні умови, наявність захворювань чи шкідників [13, 14].

Основними методами фітоіндикації є фенологічний; морфо- і біометричний; анатомо-цитологічний; фізіологічний; біохімічний; біофізичний; дендрологічний; флористичний; популяційний та екосистемний; генетичний; ліхеноіндикаційний. Але на практиці найчастіше досліджують саме макроскопічні зміни рослин [14].

Чухрій Ю. відзначає наступні напрямки фітоіндикації [15]:

1. Оцінка середовища за основними видами-індикаторами. Цей вид фітоіндикації має дуже вузьку сферу застосування – для оцінки зв'язку ґрунтів або інших видів середовища з рослинами в умовах аридної зони, або інших регіонів з екстремальними умовами середовища.

2. Оцінка середовища за рослинними асоціаціями – індикаторами. Цей підхід практикувався школою Вікторова, допоки вона майже повністю не перейшла на ландшафтні методи. Цей метод вважається малопридатним при середніх, не екстремальних режимах факторів середовища.

3. Оцінка середовища щодо співвідношення індикаторних груп видів. Цей метод оцінюється досить високо. Його переваги в тому, що індикатори обираються з усіх видів та оцінюються за співвідношенням участі представників різних індикаторних груп. До цього напрямку належать методи індикації з баловою оцінкою середовища і таким же виразом екологічних амплітуд видів: шкали Л. Раменського, П. Погребняка, Г. Елленберга та інші, а також математичний метод Д. Джеглама – метод прямого обліку середовища [16].

Отже, підсумовуючи, можемо зазначити, що проблема захисту навколишнього природного середовища на сьогоднішній день має глобальний характер. Для оздоровлення природного середовища необхідна розробка методів моніторингу, які направлені на виявлення, ідентифікацію та визначення концентрації забруднюючих речовин. Необхідним елементом при цьому є рослини, які дуже чутливо реагують на стан атмосфери та гідросфери.

Саме фітоіндикаційна оцінка умов середовища з урахуванням закономірностей її змін під час заміни одного рослинного покриву іншим, може бути найбільш надійним критерієм оцінки придатності того або іншого місця проживання або розташування для розміщення, культивування чи охорони тих чи інших видів. Це важливо як для господарських, так і для наукових чи естетичних цілей.

1.2. Фітоіндикація антропогенного навантаження за морфометричними показниками рослин

Нині найбільш застосовувані методи фітоіндикації враховують морфологічні зміни вищих рослин. Основою для цього є, насамперед, незначні витрати праці при спостереженні та оцінці явищ, що спостерігаються.

Вимірювання найчастіше можуть проводитися без спеціальних лабораторій та навченого персоналу. Для деяких стресових факторів обираються вже випробувані та іноді спеціально підібрані різні морфологічні індикатори, за допомогою яких можлива коротко- або довготривала індикація як за низьких, так і за високих доз впливу. Сучасні дослідження приділяють основну увагу стандартизації тест-матеріалу та умов його застосування.

У багатьох країнах морфологічні індикатори застосовують у національній системі моніторингу. За допомогою методів фітоіндикації, заснованих на морфології рослин, отримано більшість картосхем антропогенного впливу. Морфологічні методи індикації знаходять застосування при селекції стійких ліній лісових, плодових і декоративних дерев [17].

Майже кожен вид рослини можна уподібнити особливому приладу, що дає характеристику різних факторів середовища: при цьому одні показники більш детальні і точні, інші менш. І, звичайно, чим більше видів-індикаторів у фітоценозі і чим вони різноманітніші, тим більш різностороннє і точне уявлення можна отримати про середовище. Таким чином, спільнота різних фітоіндикаторів дає більше інформації та більш точно характеризує зовнішнє середовище, ніж один вид [18].

Зокрема, впливи стресорів відрізняють тільки завдяки появі зовнішніх симптомів ушкоджень (наприклад: некрози, хлорози) після того як порушена границі адаптаційної здатності і системи стають нестабільними [19].

Підсумовуючи вище зазначене, можемо сказати, що після порушення адаптаційної здатності у рослин з'являються зовнішні симптоми ушкоджень за якими можна робити фітоіндикацію тих чи інших стресових факторів на рослину.

1.3. Сутність методу флуктуючої асиметрії листків

За думкою одного із засновників методу флуктуючої асиметрії В.М. Захарова вибір метода дослідження для оцінки стану довкілля визначають загальні параметри, серед яких: чутливість метода, його придатність для

реальних умов, універсальність, що сполучаються з можливістю його широкого застосування [20]. З основних підходів до вибору методів (морфологічний, генетичний, фізіологічний, хімічний, імунологічний) головним принципом є наявність оптимального рівня, відхилення від якого свідчать про стресовий стан. Цим оптимумом може бути асиметрія морфологічних ознак органів рослин з білатеральною симетрією. Доступним і нескладним способом оцінки є визначення величини флуктуючої асиметрії білатеральних морфометричних ознак. При простоті підходу, дешевизні через відсутність хімічних реактивів, лабораторного обладнання, складних приладів метод дає інтегральну оцінку стану біооб'єкта з переносом її на якість навколишнього середовища.

З усіх видів асиметрії (антисиметрія, спрямована асиметрія тощо) флуктуюча асиметрія – це результат нездатності біонта розвиватися за точно визначеним шляхом, це неспрямовані незначні відхилення від симетрії, напр., порушення симетрії боків такого органу рослини, як листя, що виникає як відклик на зовнішній стрес [21].

Якщо антисиметрія та спрямована асиметрія є генетично обумовленими, то у флуктуючої асиметрії різниця боків не є генетично детермінованою й відмічається навіть у випадках, коли в прояві ознаки існує і антисиметрія, і спрямована асиметрія [21].

Принцип методу флуктуючої асиметрії базується на вимірюванні декількох таких ознак справа і зліва від центральної жилки листя рослин: 1) ширина листя посередині; 2) довжина другої жилки; 3) відстань між кінцями першої і другої жилок; 4) кут між центральною і 2-ю жилкою; 5) форма верхівки листя.



верхівки листя.

Метод використовує як пластичні (мірні, це саме наш випадок), так і меристичні ознаки. Величину флуктуючої асиметрії оцінювали за інтегральним показником – величиною середньої відносної різниці за ознаками, яку розраховували як середнє арифметичне

відношення різниці до суми промірів листя зліва і справа. Величина показника флуктуючої асиметрії вказує на наявність негативних факторів у середовищі мешкання організму та дає загальну оцінку якості довкілля. Стабільність показника в умовах моніторингу свідчить про адаптацію організму, а його підвищення – про негативні зміни, але природа діючого негативу (хімзабруднення, вплив радіації, температури, ін.) або декількох чинників разом залишається прихованою.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Кліматичні та погодні умови в місті Умань

Умань – місто в Україні, що є адміністративним центром Уманського району Черкаської області. Місто розташоване на Придніпровській височині вздовж берегів р. Уманка за 186 км на південний захід від обласного міста Черкаси. Через місто проходять два автошляхи. Історично місто знаходиться на межі Поділля та Наддніпрянської України.

Клімат м. Умань обумовлений його розташуванням. Середня температура січня становить $-5,6^{\circ}\text{C}$, липня $+20,2^{\circ}\text{C}$. Середньорічна кількість опадів – 474 мм (у середньому за рік у місті спостерігається 130 днів з опадами), найменше – у березні та жовтні, найбільше – у липні.

Найнижча середньомісячна температура повітря в січні ($-15,1^{\circ}\text{C}$) зафіксована 1963 року, найвища ($+1,6^{\circ}\text{C}$) – 2007 року. Найнижча середньомісячна температура в липні ($+17,6^{\circ}\text{C}$) спостерігалась у 1912 році, найвища ($+25,6^{\circ}\text{C}$) – в 1936 році. Абсолютний мінімум температури повітря ($-35,3^{\circ}\text{C}$) зафіксовано 9 січня 1935 року, абсолютний максимум ($+38,7^{\circ}\text{C}$) – 27 липня 1909 року і 20 серпня 1929 року.

За останні 100-120 років температура повітря в Умані, так само як і в цілому на Землі, має тенденцію до підвищення. Протягом цього періоду середньорічна температура повітря підвищилася щонайменше на $1,0^{\circ}\text{C}$. Найтеплішим за всю історію спостережень виявився 2007 рік. Більшим у цілому є підвищення температури в першу половину року.

Переважні напрями вітрів узимку – північно-західні, влітку – південні. Найбільша швидкість вітру – в лютому, найменша – влітку. У січні вона в середньому становить 4,5 м/с, у липні – 3,4 м/с.

В цілому, клімат і погодні умови в м. Умань сприятливі для нормальної життєдіяльності дерев Клену гостролистого.

2.2. Об'єкт дослідження

Клен гостролистий (*Acer platanoides*) – листопадне декоративне дерево (рис. 2.1), геліофіт з кулеподібною кроною сягає у висоту до 28 м, це дводомна рослина, цвіте у травні, плоди мають вигляд подвійної крилатки і з'являються у 17-річних дерев. Крім України, клен поширений в серединній і південній частинах Росії, в Європі та Південно-Західній Азії повсюдно.



Рис. 2.1. Клен гостролистий

Вибір як біоіндикатора клена гостролистого мотивувався тим, що клен входить до переліку деревних рослин (тополя, береза, клен), що придатні для використання в фітоіндикації. Однак в літературі відомі як позитивні, так і негативні відгуки про його застосування, тому було цікаво перевірити його можливості як біоіндикатора довкілля. До того ж, клен має специфічну форму листя з білатеральною симетрією, легко визначається, поширений в Україні.

2.3. Методика проведення досліджень

Дослідження якості атмосферного повітря м. Умань Черкаської області методом фітоіндикації було проведено в кінці літа в 2022 році. Для цього, перш за все, ми визначали локації, де ростуть дерева Клену гостролистого. Дані локації для збору біоматеріалу вибирали в 6 районах м. Умань з урахуванням їх передбачуваного забруднення або його відсутності:

- 1) житловий масив біля автомагістралі Е-95 (вул. Степана Бандери);
- 2) центр міста з безперервним автотранспортним потоком, вул. Європейська;
- 3) парк ім. Т. Г. Шевченка, що межує з дорогою з інтенсивним автомобільним рухом (вул. Незалежності);
- 4) житловий масив біля школи №5 поблизу місць паркування машин (вул. захисників Вітчизни);
- 5) санітарно-захисна зона заводу з виробництва фармацевтичних препаратів і матеріалів ПрАТ «Технолог»;
- 6) заміська зона (комплекс відпочинку «Білогрудівський ліс»).

Збирання листя клена проводили після зупинки його росту та досягнення генеративного вікового стану наприкінці літнього сезону. Листя відривали з дерев на майданчиках однакового ґрунту та вологості за єдиними умовами освітленості сонцем і рівновіддалених від можливих джерел забруднення. Вибір майданчиків проводився з метою виключення фактору зниження стабільності розвитку дерев через негативні природні умови затінення такого геліофіта, як клен. Отже, вибір майданчиків значно знижував можливість впливу природних стресових факторів на розвиток листя та його симетрію. На майданчику збір листя відбувався з 1-4-х дерев в кількості до 12 штук. Листя зривали з гілок з різних боків нижньої частини крони дерев, щоб виключити погіршення розвитку, пов'язані з різними стадіями їх росту [21]. Для вимірювання ознак використовували лінійку, циркуль, транспорир.

За зовнішнім виглядом більшість листя мали деформації листяної пластинки та відхилення від прямої верхівки; листя з локації №1 були вкриті

пилом, дуже висушені. Майже всі листки інших локацій мали некротичні плями.

Розрахунок асиметрії листя здійснювали за пластичним методом. Для кожної ознаки кожного лист за формулою були розраховані величини асиметрії [21].

2.4. Охорона праці при проведенні фітоіндикаційних досліджень

Вимоги до охорони праці при проведенні фітоіндикаційних досліджень включають рекомендації щодо безпеки праці під час виконання робіт з обламування листя на деревах. В такому випадку, найбільшу небезпеку становлять зони можливого падіння сухих дерев, а також гілок та інших частин дерев (наприклад, крона, стовбур і т.д.). Крім цього, небезпека може бути пов'язана з наступними несприятливими природними та виробничими факторами:

- зовнішніми метеорологічними чинниками (вітер, опади, гроза);
- наявність ліній електропередач, що розташовані на незначній відстані від дерева, на якому виконуються дослідницькі роботи;
- місцевість зі складним рельєфом (схили, осипи, обвали, водостоки).

Основні заходи безпеки при проведенні досліджень включають такі правила. Роботи потрібно виконувати відповідно до вимог нормативно-правових актів з охорони праці. Перед виконанням робіт підвищеної небезпеки працівники повинні пройти навчання та перевірку з питань охорони праці, а також володіти достатнім рівнем знань щодо надання першої домедичної допомоги потерпілим.

У парках, на стежках та дорогах, де виконуються подібні дослідження, з метою безпеки мають встановлюватись попереджувальні знаки, які забороняють прохід та проїзд особам, який може закінчитись травматичною ситуацією. Перед початком обривання листя з гілок працівники, що виконують дослідження, повинні впевнитися, що дерева розміщені у стійкому положенні [22].

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження біометричних характеристик листків *Acer platanoides*

Серед всіх типів біоіндикації (біоіндикація мікроорганізмів, вірусів, тварин, гідробіонтів, рослин і ліхеноіндикація), найбільш доступною є біоіндикація рослин, або фітоіндикація.

Рослини, в силу своєї природи не можуть пристосовуватися до природних змін і антропогенного навантаження через переміщення на місцевості. Тому вони змушені адаптуватися до стресових ситуацій тільки через зміну динаміки росту, зменшення або збільшення підземної або наземної частин, розмірів або кількості листя, пелюсток, плодів у генеративному стані, зміну кольору або некрозу листя. Саме ці зміни відносять до макроскопічних змін, які легко встановлюються неозброєним оком, крім того, у рослин-біоіндикаторів відмічають такі макроскопічні явища, як дефоліація, дефлорація, зміна форми органів, ксерофітізація.

Відкриття флуктуючої асиметрії дозволило використовувати і певні морфометричні ознаки як макроскопічні зміни, що швидко і просто встановлюються при аналізі органів деревинних рослин, які підлягали антропогенному забрудненню.

З усіх видів асиметрії флуктуюча асиметрія – це результат нездатності рослини розвиватися за точно визначеним шляхом, це неспрямовані незначні відхилення від симетрії, наприклад, порушення симетрії боків такого органу рослини, як листя, що виникає як відклик на зовнішній стрес.

За результатами наших досліджень, ознаки листя клена, що характеризують морфологічні особливості листя з білатеральною симетрією, відповідали сукупності промірів. Проміри знімали з лівого та правого боків листків відносно центральної жилки за 4-ма ознаками і фіксували зігнутість верхівки або її прямолінійність чи двоїстість. В таблицях 3.1-3.6 висвітлені результати вимірювань листків дерев на кожній із шести локацій (табл. 3.1–3.6).

Таблиця 3.1

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №1)

№ дерева	Ширина половини листкової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	8,6	9,4	13,4	14,4	7,9	8,8	37	36	не зігнута
2	6,5	5,9	9,5	9,4	5,4	6,0	37	38	зігнута вправо
3	5,6	5,4	8,1	7,9	6,1	5,3	42	45	не зігнута
4	5,9	5,4	8,1	7,8	5,4	5,1	39	42	зігнута вправо
5	5,2	5,3	8,6	7,5	6,7	4,9	39	45	зігнута вправо
6	5,7	5,3	8,9	8,2	6,0	5,1	34	40	не зігнута
7	5,8	6,0	9,0	9,2	6,9	8,7	39	42	не зігнута
8	6,2	6,3	9,8	10,0	5,9	6,5	41	39	зігнута вправо
9	5,3	4,7	7,4	8,0	5,3	5,7	47	39	не зігнута
10	7,2	7,0	10,4	10,2	7,2	6,6	44	43	не зігнута

Таблиця 3.2

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №2)

№ дерева	Ширина половини листкової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	7,2	6,4	11,1	11,4	7,5	7,2	42	37	не зігнута
2	2,4	6,1	8,7	10,1	6,0	6,8	53	45	зігнута вправо
3	8,6	7,5	13,2	12,6	8,4	7,1	39	36	не зігнута

4	7,9	8,1	11,4	12,8	7,2	8,8	43	39	зігнута вправо
5	7,1	7,6	10,7	11,0	7,2	7,3	40	41	зігнута вправо
6	2,7	6,3	9,8	8,8	7,0	6,5	58	47	не зігнута
7	6,2	5,8	8,2	7,9	5,5	5,7	47	49	не зігнута
8	7,9	7,6	12,4	11,5	8,4	6,9	39	36	не зігнута
9	6,3	2,9	9,7	9,4	7,4	6,0	49	43	зігнута вправо
10	7,7	8,1	10,8	10,5	7,7	7,5	51	53	не зігнута

Таблиця 3.3

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №3)

№ дерева	Ширина половини листової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	7,3	6,9	12,9	12,3	8,2	8,0	37	38	зігнута вправо
2	8,2	8,0	11,3	12,0	7,1	7,4	37	34	зігнута вліво
3	8,0	8,1	11,3	12,0	7,1	7,4	37	34	не зігнута
4	7,6	8,5	11,8	12,8	9,7	9,0	44	41	зігнута вліво
5	7,7	8,4	10,9	12,8	7,8	10,7	41	42	зігнута вправо
6	7,6	7,2	11,2	10,4	6,9	6,8	36	37	не зігнута
7	9,8	10,3	13,0	13,2	8,5	8,4	43	39	не зігнута
8	8,4	9,3	14,3	13,9	9,2	9,6	38	41	не зігнута
9	8,3	9,2	14,0	15,5	10,2	10,3	37	41	не зігнута
10	9,5	9,3	15,0	14,8	8,9	9,7	41	35	не зігнута

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №4)

№ дерева	Ширина половини листкової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	7,8	8,3	13,0	13,2	8,3	6,9	34	32	не зігнута
2	8,2	7,1	11,6	12,0	7,8	8,5	45	40	не зігнута
3	5,4	5,3	9,0	8,4	6,4	5,4	38	39	не зігнута
4	6,0	5,9	8,6	9,4	5,8	7,4	48	43	зігнута вправо
5	7,6	8,0	13,1	11,7	8,2	6,9	30	37	не зігнута
6	4,9	5,9	9,3	10,6	5,7	6,6	34	31	зігнута вліво
7	7,7	7,7	12,7	12,1	8,8	8,9	42	43	не зігнута
8	7,3	6,8	11,3	11,1	8,7	8,6	46	44	зігнута вліво
9	7,8	6,4	13,2	11,0	10,6	7,7	42	45	не зігнута
10	6,0	6,1	9,8	9,3	7,5	6,6	38	40	зігнута вліво

Таблиця 3.5

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №5)

№ дерева	Ширина половини листкової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	8,9	8,*	13,6	12,9	9,1	8,8	38	37	не зігнута
2	7,7	7,4	10,9	10,4	7,1	6,7	35	37	зігнута вліво
3	7,0	6,1	11,5	9,7	7,7	5,9	39	35	не зігнута

4	7,2	7,3	11,6	11,5	7,4	7,3	36	38	зігнута вліво
5	7,2	7,2	10,3	10,7	6,4	7,3	39	37	не зігнута
6	7,4	6,2	10,9	9,8	7,4	6,5	36	41	зігнута вправо
7	6,8	7,4	11,2	11,7	7,8	8,2	37	37	не зігнута
8	5,9	6,4	9,4	10,5	5,8	6,8	39	36	зігнута вліво
9	7,5	7,0	11,3	11,0	7,6	7,4	43	40	зігнута вліво
10	6,5	6,4	9,2	10,4	5,7	6,6	41	40	зігнута вправо

Таблиця 3.6

Біометричні показники листя клену гостролистого (локація №6)

№ дерева	Ширина половини листкової пластини, см		Довжина другої жилки, см		Відстань між кінцями першої і другої жилки, см		Кут між центральною та другою жилками, °		Форма верхівки
	ліва	права	зліва	права	ліва	права	ліва	права	
1	6,7	6,5	11,6	11,4	8,1	6,9	40	38	не зігнута
2	7,4	7,6	11,5	11,7	8,0	8,1	41	42	не зігнута
3	4,8	4,9	7,8	7,9	5,2	5,3	42	42	не зігнута
4	6,4	6,1	9,8	9,7	8,6	8,3	48	46	зігнута вправо
5	5,7	6,2	8,2	9,0	5,9	6,5	41	46	не зігнута
6	3,3	3,1	6,7	5,9	4,6	4,3	66	62	зігнута вправо
7	6,3	6,8	9,2	9,7	7,2	7,8	48	48	не зігнута
8	6,9	6,9	10,0	9,4	8,2	7,3	48	51	не зігнута
9	5,4	5,2	7,1	7,2	5,5	5,8	58	56	не зігнута
10	9,3	9,1	14,3	13,9	9,3	8,9	36	40	не зігнута

Отже, аналіз біометричних показників листків *Acer platanoides* дозволяє зробити висновок, що стан навколишнього середовища досліджуваних локацій не відповідає нормам. Мова йде переважно про забруднення повітря внаслідок концентрації викидів від автотранспорту.

Заміську зону, за задумом, вибирали як контрольний варіант з чистим середовищем відносно забрудненого міста, але після вимірювань стає очевидним, що асиметрія боків листя наближується до 70 %, і ця локація не відповідає вимогам екологічно чистої ділянки. Причина цьому – близьке сусідство з автомагістраллю Е-95. І хоч віддаль об'єктів один від одного більше 1 км, але масштаби впливу настільки великі, що їх результати чітко фіксуються.

За зовнішнім виглядом листя мали не тільки порушення латеральної симетрії, але і деформаційні зміни – відхилення від прямої верхівки.

3.2. Визначення інтегрального показника флуктуючої асиметрії листків *Acer platanoides* в різних районах м. Умань

Коефіцієнт флуктуючої асиметрії у всій виборці для кожного дерева визначався як середнє арифметичне всіх величин асиметрії кожного листя, сума яких поділена на кількість листя у кожній виборці. Результати розрахунків інтегральних показників флуктуючої асиметрії для кожного дерева всіх локацій дали змогу побачити всю картину забруднення. Після підрахунку середніх значень інтегральних показників флуктуючої асиметрії за усіма майданчиками результати, що одержані, представлені на рисунку 3.1.

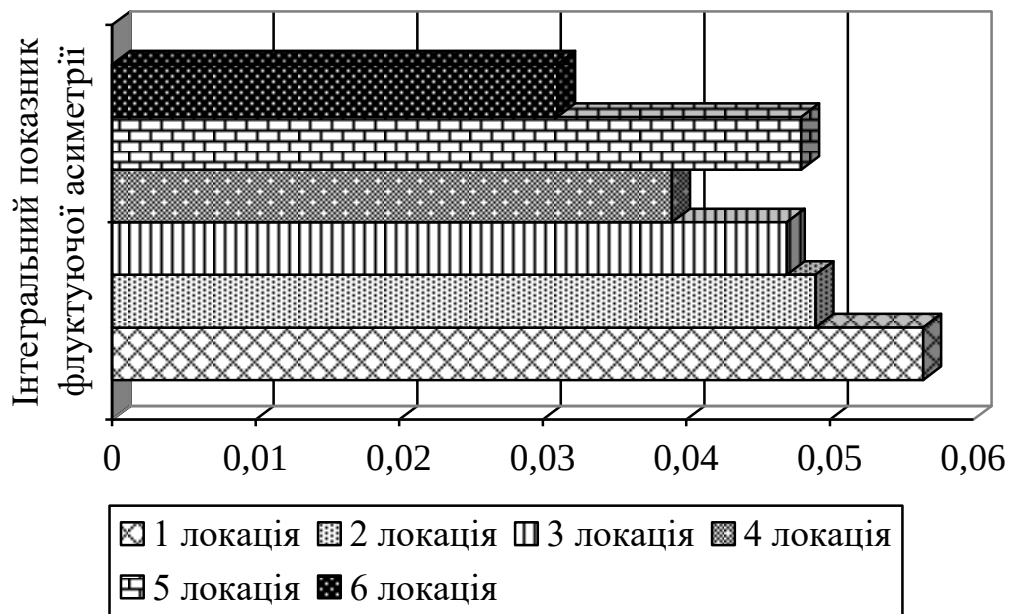


Рис. 3.1. Інтегральні показники флуктуючої асиметрії листків клена гостролистого в різних районах м. Умань

Застосування в біоіндикації методу флуктуючої асиметрії за пластичними ознаками для оцінки стійкості біоіндикатора з переносом їхнього стану на середовище мешкання дозволило науковцям виробити бальні системи відповідності якості довкілля величинам інтегральних показників флуктуючої асиметрії вищих рослин, в нашому випадку, клена гостролистого (*Acer platanoides* L.). Засновники методу флуктуючої асиметрії В.М. Захаров із співробітниками рекомендували бальну шкалу, укладену ними для берези повислої, використовувати для інших дерев-біоіндикаторів (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Бальні системи якості середовища за показником флуктуючої асиметрії листків клена гостролистого

Бали якості середовища					
1 Умовна норма	2	3	4	5	Критичний стан
Величини інтегральних показників флуктуючої асиметрії					

<0,015	0,016-0,025	0,026-0,035	0,036-0,045	0,046-0,055	>0,056
--------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------

Отже, за бальними системами якість і безпечність середовища районів м. Умань розподілилася згідно таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

**Відповідність коефіцієнту флуктуючої асиметрії клена гостролистого
бальній системі оцінки якості середовища**

№ локації, її місце розташування	Коефіцієнт флуктуючої асиметрії	Бали системи оцінювання якості середовища
№1, вул. С. Бандери	0,057	критичний стан
№2, вул. Європейська	0,049	5
№3, вул. Незалежності	0,047	5
№4, вул. Захисників Вітчизни	0,043	4
№5, СЗЗ ПрАТ «Технолог»	0,048	5
№6, ВК «Білогрудівський ліс»	0,031	3

Аналіз результатів демонструє, що фактично і центральна частина міста, і промислові зони мають однакову ступінь забруднення, що за бальною системою відповідає п'яти балам. А показник флуктуючої асиметрії листків клена, що росте на вул. С. Бандери і межує з автомагістраллю дає можливість оцінити стан довкілля як критичний. Отже, зараз головним забруднювачем навколишнього середовища м. Умань є автотранспорт. Тільки цим можна пояснити однакову ступінь забруднення в різних районах міста, яких поєднує інтенсивний автомобільний рух. Треба зазначити, що навіть заміська зона характеризується 3 балами оцінки довкілля, хоча вона була вибрана для порівняння як техногенна безпечна. Однак очевидно, що сусідство із автомагістраллю та з постійним рухом машин поруч в с. Піківці не може створювати безпечну екологічну обстановку навіть на заміській території.

На наш погляд, для сучасних урбанізованих територій з насиченим автомобільним рухом і, відповідно, запиленістю і виробничими викидами в атмосферу така система оцінки якості середовища є недорогою і

перспективною. Аналіз оцінки якості середовища показав: посилення техногенного впливу на повітря і поступова адаптація біоти до антропогенного стресу змушують періодично переглядати існуючі нормативні квоти.

ВИСНОВКИ

1. Після порушення адаптаційної здатності у рослин з'являються зовнішні симптоми ушкоджень за якими можна робити фітоіндикацію тих чи інших стресових факторів на рослину.

2. Доступним і нескладним способом оцінки якості довкілля є визначення величини флуктуючої асиметрії білатеральних морфометричних ознак. При простоті підходу, дешевизні через відсутність хімічних реактивів, лабораторного обладнання, складних приладів метод дає інтегральну оцінку стану біооб'єкта з переносом її на якість навколишнього середовища.

3. За зовнішнім виглядом листки клена гостролистого мали не тільки порушення латеральної симетрії, але і деформаційні зміни – відхилення від прямої верхівки. Аналіз біометричних показників листків *Acer platanoides* дозволяє зробити висновок, що стан навколишнього середовища досліджуваних локацій не відповідає нормам. Мова йде переважно про забруднення повітря внаслідок концентрації викидів від автотранспорту.

4. Результати розрахунків інтегральних показників флуктуючої асиметрії для кожного дерева всіх локацій дали змогу побачити всю картину забруднення. Найвищий показник коефіцієнта відмічено у варіанті із локації №1 – вул. С. Бандери (0,056).

5. Аналіз результатів демонструє, що фактично і центральна частина міста, і промислові зони мають однакову ступінь забруднення, що за бальною системою відповідає п'яти балам. А показник флуктуючої асиметрії листків клена, що росте на вул. С. Бандери і межує з автомагістраллю дає можливість оцінити стан довкілля як критичний. Отже, зараз головним забруднювачем навколишнього середовища м. Умань є автомототранспорт. Тільки цим можна пояснити однакову ступінь забруднення в різних районах міста, яких поєднує інтенсивний автомобільний рух.

ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз оцінки якості середовища показав: посилення техногенного впливу на повітря і поступова адаптація біоти до антропогенного стресу змушують періодично переглядати існуючі нормативні квоти. На наш погляд, для сучасних урбанізованих територій з насиченим автомобільним рухом і, відповідно, запиленістю і виробничими викидами в атмосферу система оцінки якості середовища за допомогою методу фіто індикації є недорогою і перспективною. Тому даний метод можна рекомендувати міським адміністративним службам з охорони навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nykytiuk P. Phytoindication: basic diagnostic characteristics and approaches. *Danish Scientific Journal*, 2020. №35. P. 5–9.
2. Колесник Ю. С., Федак В. С. Методичні особливості флуоресцентного фітомоніторингу довкілля міста. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016. С. 129–134.
3. Агурова І. В., Прохорова С. І. Моніторинг стану рослинного покриву техногенних земель: популяційний та морфологічний аспекти. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2014. С. 249–262.
4. Глухов О. З., Прохорова С. І. Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин. *Промислова ботаніка*. 2008. С. 3–4.
5. Бондарук М. А. Фітоіндикація кліматичних режимів екотопів лісових екосистем середньоруського лісостепового округу України. 2015. С. 144–153.
6. Гринюк А. А., Погоріла І. О. Біоіндикація стану атмосферного повітря м. Києва та Київської області за допомогою ялини звичайної (*Picea abies*). *Біологічні дослідження*. 2017. С. 287–289.
7. 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.
8. Шанда В.І., Євтушенко Е.О., Ворошилова Н.В., Шанда Л.В., Маленко Я.В., Кобрюшко О.О. Теоретичні проблеми біогеоценології: колективна монографія /наук. ред. Н. А. Білова ; Криворізький державний педагогічний університет. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 330 с.
9. Чемерис І. А., Загоруйко Н. В., Конякін С. М. Фітомоніторинг викидів автотранспорту в умовах міського середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2013. С. 141–146.
10. Гончаренко І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження: монографія. Дніпро: Середняк Т.К., 2017. 127 с.

11. Рагорулько А. О. Таксономічний аналіз і фітомоніторинг парків м. Херсона. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. VI (17). 2018. С. 41–44.
12. Прохорова С. І. Мінливість морфологічних параметрів *Plantago lanceolata* L. за трансектою від природних до антропогенно порушених місцезростань. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2015. С. 412–421.
13. Кудрявська Т. Б., Дичко А. О. Метод оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на повітря урбоєкосистеми. *Східно-Європейський журнал провідних технологій*. 2014. С. 4–7.
14. Лендел Т. І. Вимірювальний електротехнічний комплекс для моніторингу параметрів біометричного стану рослини та мікроклімату в теплиці. *Вісник ХНТУ імені Петра Василенка*. 2016. С.51–54.
15. Чухрій Ю.П. Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг. Конспект лекцій. Одеса: ОНАХТ, 2014. 41 с.
16. Хом'як І. В., Демчук Н. С., Василенко О. М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*. 2008. С. 113–118.
17. Хархота Г. І., Прохорова С. І., Агурова І. В. Зміни габітуальних ознак синантропних видів у техногенних фіто системах. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. С. 90–100.
18. Сметана О.М., Перерва В.В. Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу. *Кривий Ріг: Вид. дім*, 2007. 247 с.
19. Пузік В.К., Гловань Л.В. Сучасні методи моніторингу та захисту довкілля: навчальний посібник. Харків: ХНАУ, 2016. 168 с.
20. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ : НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. 344 с.
21. Van Valen L. Study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 2002. Vol. 16. №2. P. 122–146.
22. НПАОП 02.0-1.08-95 «Про затвердження Правил охорони праці під час проведення робіт з видалення дерев і пеньків у населених пунктах

України». URL: <https://oppb.com.ua/news/vymogy-bezpeky-pid-chas-provedennya-robit-z-vydalennya-derev-i-penkiv-u-naselenyh-punktah>.

ДОДАТКИ