

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ЮРЧЕНКО АННА ОЛЕКСАНДРІВНА

Допускається до захисту:
В.о. завідувача кафедри
ботаніки та екології,
канд. біол. наук,
доцент

_____ О.В. Машталер
« ____ » _____ 2024

**БІОІНДИКАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ
ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ М. ВІННИЦЯ НА ОСНОВІ
ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФЛУКТУЮЧОЇ АСИМЕТРІЇ
ЛИСТКІВ *TILIA CORDATA* MILL.**

Спеціальність 101 Екологія
Кваліфікаційна (бакалаврська) робота

Керівник:
О.В. Машталер,
доцент кафедри ботаніки та екології
канд.біол.наук, доцент

Оцінка: _____ / _____ / _____
(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК _____ (підпис)

Вінниця - 2024

АНОТАЦІЯ

Юрченко А.О. Біоіндикаційні дослідження стану забруднення повітряного басейну м. Вінниця на основі використання показників флуктуючої асиметрії листків *Tilia cordata* Mill. Спеціальність 101 «Екологія», Освітня програма «Екологія», Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2024.

У кваліфікаційній (бакалаврській) роботі досліджено оцінку стану повітряного басейну міста Вінниця за показниками флуктуючої асиметрії листків *Tilia cordata* Mill. Показано аналіз середовища, в якому знаходились досліджувані деревні рослини. Встановлено, що за допомогою *Tilia cordata* Mill. Можливо оцінити стан навколишнього середовища.

Ключові слова: флуктуаційна асиметрія, біоіндикація, *Tilia cordata* Mill.

___ с., ___ табл., ___ рис., ___ джерел.

ABSTRACT

Yurchenko A.O. Bioindicative studies of the state of air pollution in the city of Vinnytsia based on the use of indicators of fluctuating asymmetry of leaves of *Tilia cordata* Mill. Specialty 101 “Ecology”, Programme “Ecology”. Vasyl’ Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2024.

In the qualification (bachelor's) work, the assessment of the state of the air basin of the city of Vinnytsia based on the indicators of the fluctuating asymmetry of the leaves of *Tilia cordata* Mill was investigated. The analysis of the environment in which the studied woody plants were located is shown. It was established that with the help of *Tilia cordata* Mill. It is possible to assess the state of the environment.

Key words: fluctuation asymmetry, bioindication, *Tilia cordata* Mill.

___ p., ___ table, ___ figure, ___ sources.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ЗМІСТ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1	5
1.1 Природно-кліматичні умови міста Вінниці.....	5
1.1.1 Географічне положення.....	5
1.1.2 Клімат.....	6
1.1.3. Корисні копалини	6
1.1.4. Рослинність та тваринний світ	6
1.1.5 Гідрологічний режим.....	7
1.2 Огляд літературних джерел	7
1.3 Значення показників флюктууючої асиметрії для визначення стану довкілля	13
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	14
2.1 Об’єкт дослідження	14
2.2 Методика вимірювання параметрів листової пластини.....	14
2.3 Методика вимірювання окружності стовбура	16
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	18
3.1 Характеристика моніторингових ділянок	18
3.2 Опис досліджуваних територій	19
3.3 Визначення стану забруднення повітряного басейну м. Вінниці за показниками флюктууючої асиметрії.	24
3.4 Визначення обсягу екосистемних послуг та віку дерев.....	26
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ.....	38

ВСТУП

Проблема забруднення міського середовища найактуальніша серед проблем сучасності, оскільки дане середовище вирізняється впливом зовнішніх екологічних факторів, що призводить до зміни навколишнього середовища. Повітряний басейн міста наповнений викидами транспортних засобів та промислових підприємств, пилом, сажою, твердими частинками та ін. В сучасних умовах, пов'язаних із зростанням забруднення повітряного басейну для фіксації стану середовища використовується метод біоіндикації. Біоіндикація вважається досить ефективним методом, оскільки рослинні організми дуже чутливі до змін навколишнього середовища. Метод вирізняється доступністю, високою ефективністю, мінімізацією фінансових витрат та можливістю оцінити середовище за короткий період часу.

Мета роботи: провести біоіндикаційні дослідження стану забруднення повітряного басейну м. Вінниця на основі використання показників флуктуючої асиметрії листків *Tilia cordata* Mill.

Для виконання мети нами заплановано такі завдання:

- Обрати моніторингові ділянки для дослідження реакцій *Tilia cordata* Mill. на забруднення повітряного басейну;
- За морфологічними показниками листових пластинок *Tilia cordata* Mill. розрахувати коефіцієнт флуктуаційної асиметрії та надати оцінку стану довкілля;
- За допомогою програми «i-Tree MyTree» розрахувати обсяг екосистемних послуг досліджених рослин *Tilia cordata* Mill.

Об'єкт дослідження: рослини *Tilia cordata* Mill.

Предмет дослідження: показники флуктуаційної асиметрії листових пластинок *Tilia cordata* Mill.

Актуальність роботи: вперше дослідження стану забруднення повітряного басейну м. Вінниця було проведено для обраної території на листках *Tilia cordata* Mill., наведена оцінка стану довкілля.

РОЗДІЛ 1

1.1 Природно-кліматичні умови міста Вінниця

1.1.1 Географічне положення

Вінниця- місто в центрі України, обласний центр Вінницької області. Територія міста Вінниця складає 140 км² , а територія всієї області – 26,5 тис. км². Засноване місто було братами Коріатовичами , племінниками князя Ольгерда. У 1363 році вони побудували першу дерев'яну фортецю на Замковій горі й відтоді почалось формування міста.

Вінниччина розташована у зоні лісостепу. Місто перетинає річка Південний Буг з півночі на південь, розділяючи адміністративний центр на правобережну і лівобережну частину.

Майже по всій області з ґрунтів переважає чорнозем. В деяких районах області – ґрунти сірі та світло-сірі опідзолені. Ґрунтово-кліматичні умови сприятливі для ведення сільського господарства, зокрема для зернових культур, овочів та садівництва.

Частина Вінницької області розміщена в межах Українського кристалічного щита. На формування рельєфу вплинула складна геологічна історія та наявність протікаючих вод на цій території. На даний момент рельєф області – хвиляста, подекуди горбиста рівнина, розсічена чисельними долинами річок, балками та ярами [8].

Вінницьку область оточують такі області:

- Чернівецька область;
- Хмельницька область;
- Житомирська область;
- Київська область;
- Черкаська область;
- Кіровоградська область;
- Одеська область.

1.1.2 Клімат

Вінниця розташована в помірному кліматичному поясі. Місту притаманна сонячна погода з слабкими вітрами, весна іноді затяжна, вологе та тривале неспекотне літо, суха осінь, не довга м'яка зима з частими відлигами. Середня температура січня коливається від -5°C до -7°C , а липня від $+18^{\circ}\text{C}$ до 21°C . Річна кількість опадів складає 500-650 мм. Річна середня вологість повітря в місті Вінниці 65-66%, а влітку 49-51%. Найменш вологим є період зими [8].

1.1.3. Корисні копалини

На Вінниччині налічується близько 1160 родовищ і 30 видів корисних копалин. З паливних ресурсів переважають торф та буре вугілля. На сході області є малі родовища бурого вугілля. Також добуваються будівельні матеріали: глина, пісок, глина, крейда. Глина вважається якісною сировиною для створення будівельної кераміки. Також добувають граніт, каолін, фосфорити, вапняк та черепашник. Також виявлено лікувальні властивості мінеральної води Хмільницького радонового родовища [11].

1.1.4. Рослинність та тваринний світ

На території області є осередки природної та напівприродної рослинності – ліси, луки(сіножаті пасовища), степові ділянки, болота. В цілому на Вінниччині представлені такі типи рослинності: лісовий, степовий, лучний, наскельно-степовий, водно-болотний. Серед деревних листяних порід найбільш представлені дуб, липа, граб, ясен та клен. Трав'яниста рослинність дуже різноманітна.

Фауна лісових насаджень Вінниччини порівняно багата і своєрідна. Тут водяться земноводні і плазуни. Фауністичний склад ссавців лісових екосистем: козуля європейська, свиня дика, лисиця руда, вовк, лось, їжак звичайний, вовчок горішковий. Трапляються також і польові види – хом'як звичайний, полівка звичайна, заєць-русак. Найбільшим представником ссавців є лось. Фауна водно-болотних екосистем. Найбільш чисельними видами

коропоподібних є: карась звичайний, короп звичайний, краснопірка звичайна, окунеподібних – окунь річковий, судак звичайний [13].

1.1.5 Гідрологічний режим

Загалом через область проходить вододіл басейнів річок Дністер та Південний Буг. Для цих річок характерним є водний режим з помітною весняною повінню.

Гідрологічний режим міста залежить від основної водної артерії річки Південний Буг. Річка є основним джерелом прісної води для водоспоживачів та водокористувачів міста. Річка використовується для питного та технічного водопостачання, малого судноплавства, зрошування земель та гідроенергетики. В межах міста розташована Сабарівська гідроелектростанція. Природних озер на території області немає. На території області також є штучні водойми: 52 водосховища, площею 9,7 тис. га та 4849 ставків, площею 24 тис. га [1].

1.2 Огляд літературних джерел

Визначення показників флюктуючої асиметрії для надання оцінки стану довкілля є доволі популярним науковим напрямом через доступність методик, доволі широкий асортимент рослин та низьку собівартість. Даний метод можна застосовувати з використанням різних видів деревних рослин: *Tilia cordata* Mill, *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* N., *Salix caprea* L., *Acer saccharinum* L. .

Найбільш популярним видом рослин є *Betula pendula* Roth. Дослідження проводилось в багатьох обласних центрах України:

м. Запоріжжя:

1. Досліджено мінливість морфометричних параметрів листкової пластинки *Betula pendula* в різних насадженнях за впливом урботехногенного середовища м. Запоріжжя. Проби листків *Betula pendula* відібрано в зелених насадженнях санітарних зон 7 промислових підприємств з різними класами шкідливості. Вимірювання проведено за методикою В. М. Захарова (2000).

На основі обчислення середнього значення флуктуючої асиметрії встановлено залежність порушення рівня симетрії внаслідок забруднення довкілля. Найбільшого техногенного пресу *Betula pendula* зазнає в захисних насадженнях, що ростуть біля промислових об'єктів, межі коливання показника флуктуючої асиметрії на цих ділянках від 0,058 до 0,065 – критичний стан [18].

2. Також робили дослідження запорізькі науковці. Провели комплексне дослідження екологічного стану навколишнього середовища 3-х рекреаційних зон м. Запоріжжя за морфометричними параметрами індикаторних деревних рослин, що домінують на цих територіях (*Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L. та *Betula pendula* Roth.). Результати дослідження показали, що території № 3 «Дубовий гай. Старі дуби» за показниками флуктуаційної асиметрії деревних рослин (*Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth.) стан території характеризувався як «незадовільний» та «критичний». Проте стійким видом до антропогенного забруднення за цими показниками є *Acer platanoides* L. Попри це, найбільшою стійкістю внутрішнього середовища листків на зовнішнє підкислення володіє *Aesculus hippocastanum* L. на ділянках № 2 та 3, тому цей вид можна рекомендувати висаджувати на цих територіях не тільки з метою рекреації, але й біоремедіації, оскільки у нього висока всмоктувальна здатність листових пластинок [12].

м. Івано-Франківськ:

1. У статті відображено результати дослідження флуктуючої асиметрії листових пластинок в умовах впливу техногенних чинників золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС, що є територією підвищених екологічних ризиків. Проаналізовано рівень флуктуючої асиметрії листових пластинок трьох найбільш поширених видів дерев – *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth. Показник флуктуючої асиметрії листових пластинок досліджуваних видів становив від 0,0610 до 0,0775. Найвищі рівні асиметрії зафіксовано у *Populus tremula* L., найнижчі – у *Betula pendula* Roth..

На основі інтегрального показника флуктуючої асиметрії екологічний стан території золошлаковідвалів оцінено як критичний. Результати аналізу дозволяють розташувати досліджувані види у наступний ряд чутливості до техногенного навантаження за цим показником: *B. pendula* → *S. caprea* → *P. tremula* [17].

2. У статті подано дослідження морфологічних особливостей асиміляційного апарату *Populus tremula* L. в умовах впливу техногенних емісій Бурштинської ТЕС. Методами лінійної морфометрії проаналізовано мінливість морфологічних показників листка при високих рівнях забруднюючих речовин. У зоні впливу промислового об'єкта спостерігається зміна фоліарних показників. Виявлено неоднакову мінливість морфологічних параметрів в умовах впливу промислового забруднення та за мінімізованого техногенного навантаження. Рівні мінливості морфологічних параметрів оцінено через показник коефіцієнта варіації, що для більшості проаналізованих морфологічних ознак в умовах техногенного навантаження характеризується високими і середніми значеннями [16].

м. Кривий Ріг:

Об'єктом дослідження було обрано березу повислу (*Betula pendula* Roth.). Інтегральний показник асиметрії листків берези повислої території з мінімальними рівнями аеротехногенного забруднення Криворіжжя відповідає умовній нормі (=0,035). В зоні середнього рівня забруднення він вказує на максимальний рівень впливу на березу повислу (=0,054). В зоні максимального забруднення атмосферного повітря цей показник свідчить про вкрай несприятливі умови (=0,081), а рослини перебувають у сильно пригніченому стані [15].

м. Рівне:

В рамках даного дослідження для оцінки якості міського середовища використано показники стабільності розвитку берези повислої (*Betula pendula* Roth.). Таким чином, найвищий рівень відхилення флуктуючої асиметрії від норми встановлено на околицях міського парку культури та відпочинку ім.

Т. Шевченка (0,087), що відповідає «критичному» стану за шкалою В. М. Захарова. Встановлено, що умови «критичних» ділянок та високі значення інтегрального показника флуктуючої асиметрії пов'язані з інтенсивним рухом автотранспорту та щільною житловою забудовою, а також із пониженням рельєфу [14].

м. Харків:

Рівень флуктуючої асиметрії листя берези повислої (*Betula pendula*) та липи дрібнолистої (*Tilia cordata*) корелює з рівнем автотранспортного забруднення атмосфери біля автомагістралей. Найбільше значення флуктуючої асиметрії виявлено на відстані 10 м від проїзної частини, де рівень забруднення є максимальним, найменше – на відстані 50 м, де рівень забруднення значно знижується. *Betula pendula* та *Tilia cordata* є чутливими до рівня забруднення атмосфери і можуть використовуватися в біоіндикаційних дослідженнях для визначення ступеня забруднення міських територій. При цьому *Betula pendula* є більш чутливим видом ніж липа дрібнолиста *Tilia cordata* [9].

м. Київ:

1. Варіабельність морфометричних параметрів листкової пластинки *Tilia cordata* з різних локалітетів пов'язана як з онтогенетичними чинниками, так і з умовами навколишнього середовища. Зменшення головних морфометричних параметрів (площі листкової пластинки та довжини черешка) відбувається в наступному порядку: прибудинкові насадження - штучні насадження вздовж вулиць з обмеженим трафіком – парки – головні автомагістралі. Дослідження морфометричних параметрів листків *Tilia cordata* статистично підтвердило необхідність урахування коефіцієнту варіації як інформативного показника. Відсутність вірогідної кореляції між морфометричними показниками (площею листкової пластинки, шириною та довжиною листкової пластинки та довжиною черешка) і ступенем техногенного навантаження свідчить про доцільність використання цих параметрів лише у поєднанні з адекватними біомаркерами техногенного забруднення, та необхідність залучення інших методів визначення

контамінантів. Відмічений високий адаптаційний потенціал виду *Tilia cordata*, що уможлиблює його придатність для озеленення високоурбанізованих територій [7].

2. Проведено апробацію виду *A. saccharinum* як тест-об'єкту при моніторингових дослідженнях за показником флуктуючої асиметрії. Стан насаджень міста охарактеризовано як задовільний. За підсумком проведених досліджень можна зробити висновок: *A. saccharinum* є придатним видом для проведення біоіндикаційних досліджень за показником флуктуючої асиметрії. Результати дослідження свідчать, що величина флуктуючої асиметрії *A. saccharinum* зростає в місцях високого антропогенного навантаження [4].

3. Досліджено чотири види роду *Acer*: *A. platanoides*, *A. saccharinum*, *A. pseudoplatanus* та *A. campestre* на предмет застосування як тест-об'єктів для оцінювання стану навколишнього середовища у мегаполісах за показником величини флуктуючої асиметрії листкових пластинок. Розроблено систему промірів морфологічних ознак листкових пластинок для досліджених видів. Визначено, що всі досліджені види можуть бути використані як види-індикатори під час здійснення біоіндикаційних досліджень. Встановлено, що *A. saccharinum* є найбільш чутливим видом до техногенного навантаження [5].

4. Досліджено динаміку величини флуктуючої асиметрії листків *Acer platanoides* L. восьми місцезростань м. Києва протягом трьох років. Показано відсутність суттєвих коливань досліджуваних показників у межах певного місцезростання протягом року та їх наявність у різні роки. Встановлено, що для отримання репрезентативних результатів необхідно проводити дослідження протягом декількох років поспіль. Виявлено, що дерева природних місцезростань мають достовірно нижчі величини асиметрії листків, ніж дерева штучних насаджень.

Величина флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* в межах окремого місцезростання протягом трьох років змінюється непередбачувано, тому для достовірних результатів моніторинг слід проводити протягом декількох років поспіль. Величини флуктуючої асиметрії дерев природних місцезростань

достовірно нижчі, ніж дерев штучних насаджень, при проведенні моніторингових досліджень контрольну групу рослин слід обирати в природних деревостанах з урахуванням максимального домінування відповідного виду індикатора [6].

м. Кам'янець-Подільський:

У рамках даного дослідження, використовуємо липу серцелисту (*Tilia cordata* L.). Аналіз ФА досліджуваних об'єктів показав наступне: найбільш забрудненими вулицями у м. Кам'янець-Подільський є проспект Грушевського та вул. Привокзальна (показники флуктуючої асиметрії 0,109 (5 балів) та 0,131 (5 балів) відповідно, що характеризується як «критичний стан». За результатами аналізу отриманих розрахунків вул. Лесі Українки є чистою, показник флуктуючої асиметрії – 0,027 (1 бал; Хмельницьке шосе – 0,06 (2 бала) – відносно чисто. Усереднивши показники величини асиметрії кожної вибірки отримано середню величину асиметрії – 0,084. За бальною системою якості середовища по показникам флуктуючої асиметрії вищих рослин (за А. Б. Стрельцовим) це числове значення відповідає 5 балам. Екологічний стан повітряного середовища у межах певних вулиць м. Кам'янця-Подільського набирає 5 балів, що характеризує критичний стан. Це може бути пояснено значним антропогенним впливом, зокрема транспортним навантаженням [19].

м. Дніпро:

У статті представлено результати дослідження морфометричних показників деревних рослин, що зростають в умовах техногенного забруднення та виявлено найбільш інформативні показники та індикаторні види. Було обрано дві досліджувані території: проспект Нігояна і вулиця Панікахі. Інтегральний показник флуктуючої асиметрії листків *A. pseudoplatanus* і *T. cordata* відображує значну ступінь порушення стабільності розвитку рослин на просп. Нігояна, де рівень, забруднення на багато вищий ніж на вул. Панікахі.

Отримані дані свідчать про можливість використання листків цих рослин для біоіндикації стану довкілля з застосуванням відповідної шкали. За рядом морфометричних показників у вуличних насадженнях з різним рівнем

техногенного забруднення встановлені найбільш стійкі види дерев, які можуть бути рекомендовані для озеленення промислових міст степової зони України [2].

1.3 Значення показників флуктуючої асиметрії для визначення стану довкілля

Флуктуаційна асиметрія (невеликі, випадкові відхилення від ідеальної симетрії) зазвичай використовується, як міра стабільності розвитку білатеральних і симетричних морфологічних ознак. Як правило, обчислюється один або більше індексів як дисперсію або середнє абсолютне значення різниці між правим і лівим елементами двосторонньої пари для вибірки. На стабільність розвитку впливають як внутрішні (генетичні), так і зовнішні (середовище) фактори.

Найзручнішими для визначення біоіндикації є наступні види: *Populus balsamifera* Bieb., *Acer platanooides* L., *Acer saccharinum* L., *Acer Negundo* L., *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L., *Salix caprea* L.. Всі перераховані рослини мають чітко виражену двосторонню симетрію, що є головним критерієм методу. Принцип методу зосереджений на виявленні порушень симетрії листової пластини.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт дослідження

Для дослідження було обрано рослини *Tilia cordata* Mill. Цей вид часто використовують для озеленення територій населених пунктів. Рослина є морозостійкою, витривалою до посух та зміни світлового режиму. Липа починає цвісти в червні, тривалістю в 7-15 днів. Плоди досягають у кінці серпня – на початку вересня.

Матеріал був зібраний на початку вересня 2023 р. Вибірка складала по 40 листків з кожного дерева.

Дослідження проводилось на гербаризованих листках *Tilia cordata* Mill, відібраних після зупинки формування листя та плодів. Під час збору листя, ми також враховували його стан та розмір.

Матеріал був зібраний на 7 моніторингових ділянках міста Вінниці:

1. Житлова територія, проспект Юності, 59;
2. Парк Дружби Народів;
3. Вінницького заводу «Маяк», вулиця Воїнів-Інтернаціоналістів, 2;
4. Стадіон Вінницького медичного коледжу ім. акад. Д.К. Заболотного, вул. Пирогова, 57;
5. Вінницький ліцей № 30 ім. Тараса Шевченка, вул. Стрілецька, 62;
6. Хутір Шевченка, вул. Продольна 29;
7. Подільський зоопарк, вул. Київська, 180

2.2 Методика вимірювання параметрів листової пластини

Методика вимірювання параметрів листових пластинок була модифікована автором безпосередньо для роботи з листками *Tilia cordata* Mill. З кожного листка замірялись показники по 5 параметрах, з лівої і правої сторін. (рис 2.1)

1. Ширина половини листової пластини. Листок згинають навпіл, прикладаючи верхівку до основи і на отриманому згині заміряють;
2. Довжина другої жилки другого порядку від основи листка;

3. Відстань між основами 1 і 2 жилок другого порядку;
4. Відстань між кінцями 1 і 2 жилок другого порядку;
5. Кут між основною жилкою першого порядку і основою другої жилки другого порядку.

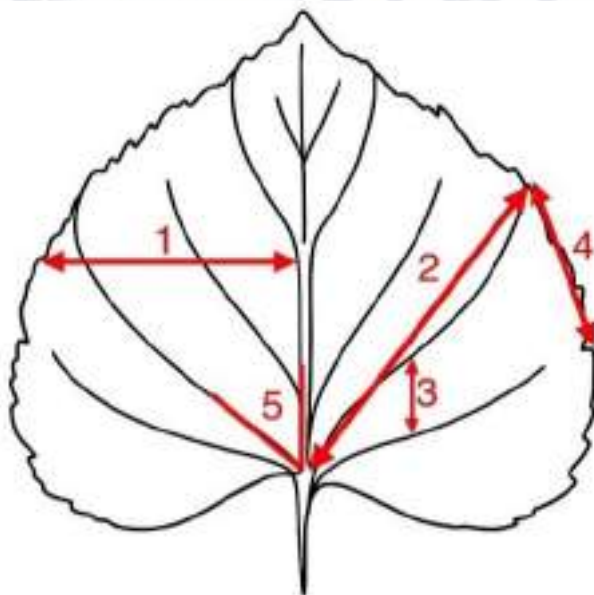


Рисунок 2.1 – Параметри листової пластини

При оцінці стану та розвитку середовища на територіях яких проводилось дослідження, використовували методику В.М. Захарова.

Значення показника асиметрії оцінюється за п'ятибальною шкалою. Кожен бал відповідає певному значенню стану середовища..

Таблиця 2.1 – Оцінка в балах ступеня асиметрії листкових пластинок *Tilia cordata* (Mill).

Бал	Опис стану та розвитку середовища	Значення показника асиметрії
1	Умовно нормальне	До 0,040
2	Початкові відхилення від норми	0.040-0.044
3	Середній рівень відхилення від норми	0,045-0,049
4	Значні відхилення від норми	0,050-0,054
5	Критичний стан	Більше 0,054

2.3 Методика вимірювання окружності стовбура

Методика вимірювання окружності стовбура проводилась за допомогою мірної стрічки.

Під час роботи на деяких локаціях викликали складнощі вимірювання окружності стовбура через його форму та розташування: розгалуження стовбура, гілки, таблички та нарости на стовбурі, які заважали зробити заміри. Тому дерева вимірювались за такими принципами:

- Висота вимірювання окружності стовбура 130 см над рівнем землі.
- Якщо дерево росло на нерівній поверхні, вимірювання проводиться від землі з боку верхньої (висхідної) сторони дерева (вертикально, якщо стовбур вертикальний та уздовж стовбура, якщо він виріс перпендикулярно до землі);
- Якщо розгалуження стовбура дерева знаходилось нижче 130 см, то кожен стовбур ми вважали окремим деревом і вимірювали окремо кожний стовбур (на 130 см від землі, якщо вилка бере початок нижче 30 см і на 1 м вище за точку перетину);
- Якщо візуально стовбур дерева розширювався біля своєї основи, на висоті, яка перевищує 1 м, вимірювання проводили на 30 см від точки розширення;
- Якщо дерево мало виходи коріння на поверхню, вимірювання проводили на 130 см від межі між стовбуром і корінням;
- Якщо дерево мало видозміни на корі (нарости, напливи, сучки, дупла, гілки), або прилаштовані предмети (годівнички, таблички, дорожні знаки) на висоті 130 см, вимірювання проводили вище за вказані перешкоди;
- Похилі дерева вимірювали на відстані 130 см вздовж найкоротшої сторони стовбура;
- Повалені дерева вимірюються з відривом 130 см від кореневої системи;

- Якщо точка розгалуження основного стовбура знаходиться під землею, то кожний стовбур вважається окремим деревом.

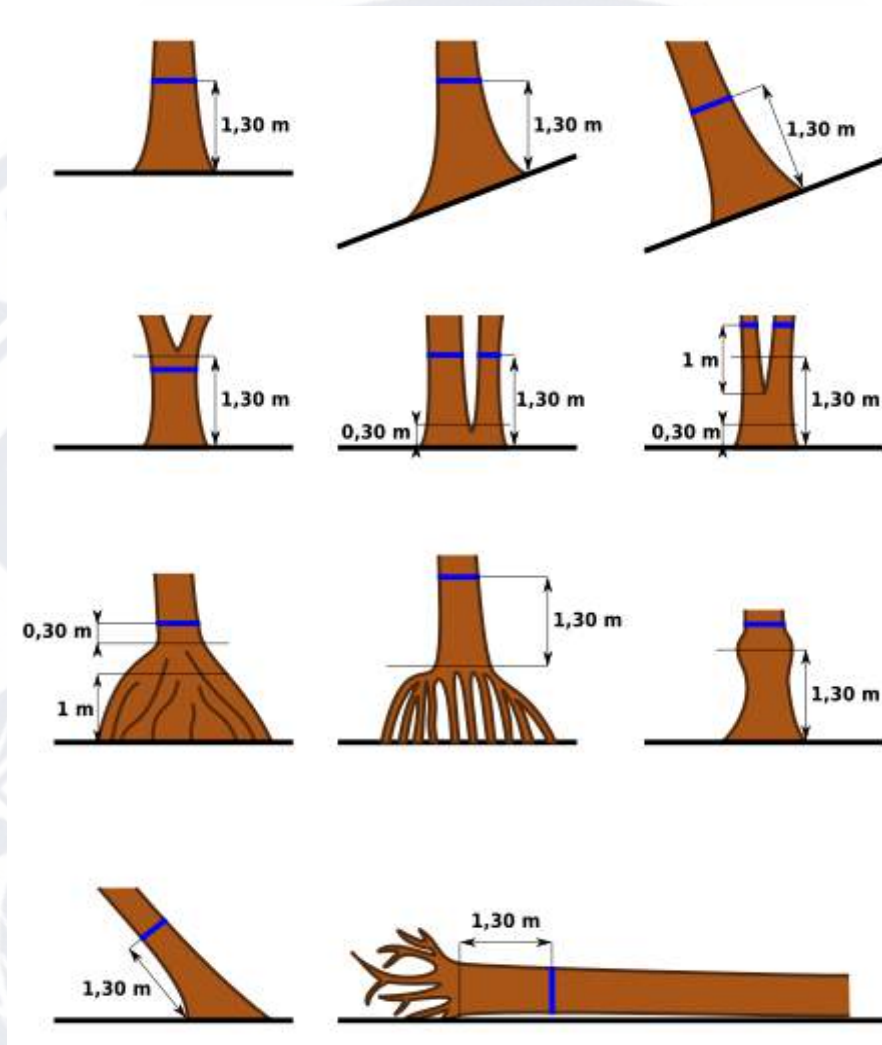


Рисунок 2.2 Методика вимірювання окружності стовбура за допомогою мірної стрічки.

Під час виконання завдань бакалаврської роботи ми використовували такі методи:

1. Маршрутний метод;
2. Метод дистанційної роботи з обраними територіями за допомогою супутникових карт;
3. Метод фотофіксації;
4. Метод гербаризації листків липи;
5. Метод камеральної обробки результатів на базі навчально-наукової лабораторії кафедри ботаніки та екології ДонНУ імені Василя Стуса.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика моніторингових ділянок

Дослідження проводилось в місті Вінниця, обласний центр Вінницької області. Населення складає на 01.01.2022 – 369739. За останні роки кількість населення в рази збільшилась через воєнний стан в країні та через вимушене переселення людей з небезпечних територій, тому Вінниця прийняла приблизно 46 тис. переселенців, про це повідомив мер міста. Разом з населенням збільшилась кількість автомобілів. Місто знаходиться в центрі України, на берегах Південного Бугу (умовно поділено на лівобережну і правобережну частини).



Рисунок 3.1 Карта - схема м. Вінниця з позначенням моніторингових ділянок.

Об'єкти дослідження знаходились в таких районах:

- Вишенька (великий житловий масив, де переважають багатоповерхові будинки, розвинена транспортна розв'язка та інфраструктура,

в районі є парки і сквери, які забезпечують рекреаційну функцію зелених насаджень);

- Поділля (сучасний житловий район, де переважають багатоповерхові будинки, розвинена транспортною розв'язкою та інфраструктурою);
- Замостянський район (останні роки район осучаснений, модернізований, завдяки розвитку транспортної інфраструктури, паркових комплексів, переорієнтації багатьох промислових підприємств, поява нових житлових мікрорайонів);
- Водоканал (віддалений від центра міста район, та території якого межують багатоповерхові житлові масиви, приватний одноповерховий сектор, складські приміщення, гаражні кооперативи та промислові об'єкти);
- Хутір Шевченка (житловий мікрорайон, переважають приватні одноповерхові будинки, складські приміщення, розташовані промислові підприємства) (рис.3.1.).

3.2 Опис досліджуваних територій

1. Проспект Юності, 59. Дерево зростає в умовах повного затінку (крони інших дерев та будівлі навколо), стан дерева задовільний. Окружність стовбура 122 см. Найближчий будинок знаходиться в 12-18 метрах від дерева. Будинок 9-ти поверховий, збудований після 1980 року. Відстань від дороги приблизно становить 300 м. Дорога має по дві смуги руху в обидва напрямки. Поблизу знаходиться магазин АТБ , виробничі комплекси відсутні (рис.3.2).
2. Парк Дружби Народів (зона рекреації). Дерево зростає в умовах напівзатінку (крони інших дерев), стан дерева добрий. Окружність стовбура 99 см. В межах 18 метрів від дерева будівлі відсутні. Відстань від дороги становить приблизно 700 м (рис.3.3).



Рисунок 3.2 Моніторингова ділянка №1. Проспект Юності, 59: А - загальний вигляд території та обраної рослини; Б - особливості будови стовбура.



Рисунок 3.3 Моніторингова ділянка №2. Парк Дружби Народів: А - особливості будови стовбура та листя; Б - загальний вигляд території та обраної рослини.

3. Вулиця Воїнів-Інтернаціоналістів, 2. Дерево зростає в умовах повного сонячного освітлення, стан дерева задовільний, окружність стовбура 120 см. Знаходиться біля проїзної частини дороги, поруч з входом на територію ПрАТ Вінницького заводу «Маяк». Транспортний рух інтенсивний. Поруч регульоване перехрестя (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 Моніторингова ділянка №3. Вулиця Воїнів-Інтернаціоналістів, 2: особливості будови стовбура та листя.

4. Вулиця Пирогова, 57. Дерево зростає в умовах напівзатінку (крони інших дерев), стан дерева задовільний. Окружність стовбура 61,6 см. В межах 18 метрів від дерева будівлі відсутні, але розташований стадіон Вінницького медичного коледжу ім. акад. Д.К. Заболотного (рис. 3.5).

5. Вулиця Стрілецька, 62. Дерево зростає в умовах повного сонячного освітлення, стан дерева добрий. Окружність стовбура 124,5 см. Поруч знаходяться зупинки громадського транспорту та будівля Вінницького ліцею № 30 ім. Тараса Шевченка. Автотransпортний рух інтенсивний (рис. 3.6).



А



Б

Рисунок 3.5 Моніторингова ділянка №4. Вулиця Пирогова, 57: А - особливості будови стовбура; Б - загальний вигляд території та обраної рослини.



А



Б

Рисунок 3.6 Моніторингова ділянка №5. Вулиця Стрілецька, 62: А - загальний вигляд території та обраної рослини; Б - особливості будови крони.

6. Хутір Шевченка , вул. Продольна 29 . Дерево зростає в умовах повного сонячного освітлення, стан дерева задовільний , є ушкодження гілок. Окружність 200 см. Недалеко знаходиться залізнична станція «Вінниця-Вантажна», ПрАТ «Вінницяпобутхім» та ТОВ «Агровіт Груп». Найближчий будинок знаходиться в 12-18 метрах від дерева. Будинок 9-ти поверховий, збудований після 1980 року (рис. 3.7).



А



Б

Рисунок 3.7 Моніторингова ділянка №6. Хутір Шевченка , вул. Продольна 29: А - особливості будови стовбура; Б - загальний вигляд території та обраної рослини.

7. Вулиця Київська , 180 . Дерево зростає в умовах повного сонячного освітлення, стан дерева задовільний, є ушкодження кори, дерево уражене омелою. Окружність стовбура 120 см. Поряд «Подільський зоопарк» та АЗС «АМІК енергія». Транспортний рух інтенсивний (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 Моніторингова ділянка №7. Вулиця Київська , 180: А - загальний вигляд території та обраної рослини; Б - особливості будови стовбура та крони.

3.3 Визначення стану забруднення повітряного басейну м. Вінниця за показниками флуктуючої асиметрії.

Під час розрахунків було встановлено, що всі досліджувані території знаходяться в межах умовної норми. Найвищий показник – 0,0091, на моніторинговій ділянці №4 (стадіон Вінницького медичного коледжу ім. акад. Д.К. Заболотного). Можемо припустити, що це пов'язано з тим, що поблизу з цією територією немає інтенсивного руху автомобілів і переважають багатоповерхові будинки. Найнижчий показник – 0,0289 був на моніторинговій

ділянці №1 (Проспект Юності, 59). Можливо через те, що за 300 м знаходиться проїзна частина.

Таблиця 3.2 – Середнє значення показника флуктуючої асиметрії *Tilia cordata* (Mill).

Досліджуванні території	Показник асиметрії	Оцінка стану навколишнього середовища	Опис стану середовища
Юності 59	0,0289	1	Умовно нормальний стан
Парк дружби народів	0,0109	1	Умовно нормальний стан
Завод «Маяк»	0,0141	1	Умовно нормальний стан
Поділля, стадіон	0,0091	1	Умовно нормальний стан
Ліцей №30	0,0239	1	Умовно нормальний стан
Хутір Шевченка, Продольна 29	0,0121	1	Умовно нормальний стан
Київська 180, Подільський зоопарк	0,0157	1	Умовно нормальний стан

На показник флуктуаційної асиметрії впливає багато факторів: викиди транспортних засобів, викиди промислових підприємств, якість ґрунту, температура і вологість повітря.

3.4 Визначення обсягу екосистемних послуг та віку дерев.

Екосистемні послуги – це всі корисні запаси, вжитки та ресурси, які природа може дати людині. Екосистемні послуги поділяються на такі групи: культурні, регулюючі, соціальні та підтримуючі.[3]

Для розрахунку екосистемних послуг використовували застосунок «i-Tree My Tree». Для кожного обраного дерева були розраховані екосистемні послуги станом на сьогодні та у перспективі на 20 років. Були враховані такі екосистемні послуги :

- Поглинання вуглекислого газу;
- Поглинання вуглецю;
- Пом'якшення зливових вод;
- Видалення забруднення повітря;
- Вуглекислий газ;
- Окис вуглецю;
- Діоксид азоту;
- Діоксид сірки;
- Озон;
- Частинки $PM_{2,5}$
- Споживання енергії;
- Уникнення енергетичних викидів.

1. Проспект Юності, 59

MyTree Benefits**For this year.**Littleleaf linden, (*Tilia cordata*)**Serving Size:** 38.83 cm. diameter**Condition:** Fair**Location:** Вінниця, Вінницька Область,
Україна**Estimated this year:** \$8.79**Annual values:****Carbon Dioxide Uptake** \$1.28Carbon Sequestered¹ 6,83 kgCO₂ Equivalent² 25,04 kg**Storm Water Mitigation** \$0.00

Runoff Avoided 0,41 L

Rainfall Intercepted 9,17 L

Air Pollution Removal \$3.09

Carbon Monoxide 8,08 g

Ozone 344,89 g

Nitrogen Dioxide 44,65 g

Sulfur Dioxide 21,95 g

PM_{2.5} 17,62 g**Energy Usage Per Year³** \$3.65

Electricity Savings 22,41 kWh

Heating Fuel Savings 0,03 MMBtu

Avoided Energy Emissions \$0.77

Carbon Dioxide 15,06 kg

Carbon Monoxide 8,58 g

Nitrogen Dioxide 2,92 g

Sulfur Dioxide 31,53 g

PM_{2.5} 2,36 g**Values are totals to date:****Carbon Dioxide Uptake⁴** \$69.16Carbon Storage⁴ 367,87 kgCO₂ Equivalent^{2, 4} 1348,86 kg**MyTree Benefits****Over 20 years.**Littleleaf linden, (*Tilia cordata*)**Serving Size:** 38.83 cm. diameter**Condition:** Fair**Location:** Вінниця, Вінницька Область,
Україна**Expected over 20 years:** \$183.73**Carbon Dioxide Uptake** \$28.31Carbon Sequestered¹ 150,58 kgCO₂ Equivalent² 552,14 kg**Storm Water Mitigation** \$0.02

Runoff Avoided 8,74 L

Rainfall Intercepted 197,46 L

Air Pollution Removal \$66.61

Carbon Monoxide 174,11 g

Ozone 7430,14 g

Nitrogen Dioxide 961,87 g

Sulfur Dioxide 472,84 g

PM_{2.5} 379,58 g**Energy Usage³** \$73.03

Electricity Savings 448,18 kWh

Heating Fuel Savings 0,61 MMBtu

Avoided Energy Emissions \$15.78

Carbon Dioxide 301,18 kg

Carbon Monoxide 171,63 g

Nitrogen Dioxide 58,33 g

Sulfur Dioxide 630,53 g

PM_{2.5} 47,15 g

2. Парк Дружби Народів

MyTree Benefits For this year.		MyTree Benefits Over 20 years.	
Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)		Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)	
Serving Size: 31.51 cm. diameter		Serving Size: 31.51 cm. diameter	
Condition: Good		Condition: Good	
Location: Вінниця, Вінницькая Область, Україна		Location: Вінниця, Вінницькая Область, Україна	
Estimated this year: \$3.53		Expected over 20 years: \$78.93	
Annual values:			
Carbon Dioxide Uptake	\$1.12	Carbon Dioxide Uptake	\$25.75
Carbon Sequestered ¹	5,97 kg	Carbon Sequestered ¹	136,99 kg
CO ₂ Equivalent ²	21,9 kg	CO ₂ Equivalent ²	502,3 kg
Storm Water Mitigation	\$0.00	Storm Water Mitigation	\$0.02
Runoff Avoided	0,37 L	Runoff Avoided	8,08 L
Rainfall Intercepted	8,27 L	Rainfall Intercepted	182,64 L
Air Pollution Removal	\$2.41	Air Pollution Removal	\$53.18
Carbon Monoxide	6,3 g	Carbon Monoxide	139,01 g
Ozone	268,64 g	Ozone	5932,13 g
Nitrogen Dioxide	34,78 g	Nitrogen Dioxide	767,94 g
Sulfur Dioxide	17,1 g	Sulfur Dioxide	377,51 g
PM _{2.5}	13,72 g	PM _{2.5}	303,05 g
Values are totals to date:			
Carbon Dioxide Uptake⁴	\$42.26		
Carbon Storage ⁴	224,78 kg		
CO ₂ Equivalent ^{2, 4}	824,2 kg		

3. Вулиця Воїнів-Інтернаціоналістів, 2

MyTree Benefits	
For this year.	MyTree Benefits
Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)	
Serving Size: 38.20 cm. diameter	Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)
Condition: Good	Serving Size: 38.20 cm. diameter
Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна	Condition: Good
Estimated this year: \$9.80	Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна
Annual values:	Expected over 20 years: \$212.91
Carbon Dioxide Uptake \$1.85	Carbon Dioxide Uptake \$42.74
Carbon Sequestered ¹ 9,85 kg	Carbon Sequestered ¹ 227,34 kg
CO ₂ Equivalent ² 36,11 kg	CO ₂ Equivalent ² 833,59 kg
Storm Water Mitigation \$0.00	Storm Water Mitigation \$0.02
Runoff Avoided 0,46 L	Runoff Avoided 10,28 L
Rainfall Intercepted 10,41 L	Rainfall Intercepted 232,38 L
Air Pollution Removal \$3.03	Air Pollution Removal \$67.66
Carbon Monoxide 7,92 g	Carbon Monoxide 176,87 g
Ozone 338,09 g	Ozone 7547,74 g
Nitrogen Dioxide 43,77 g	Nitrogen Dioxide 977,09 g
Sulfur Dioxide 21,52 g	Sulfur Dioxide 480,32 g
PM _{2.5} 17,27 g	PM _{2.5} 385,58 g
Energy Usage Per Year³ \$4.13	Energy Usage³ \$85.95
Electricity Savings 30,37 kWh	Electricity Savings 640,59 kWh
Heating Fuel Savings -0,02 MMBtu	Heating Fuel Savings -0,56 MMBtu
Avoided Energy Emissions \$0.78	Avoided Energy Emissions \$16.56
Carbon Dioxide 15,24 kg	Carbon Dioxide 313,6 kg
Carbon Monoxide 10,5 g	Carbon Monoxide 219,78 g
Nitrogen Dioxide 3,02 g	Nitrogen Dioxide 62,39 g
Sulfur Dioxide 33,13 g	Sulfur Dioxide 684,16 g
PM _{2.5} 3,16 g	PM _{2.5} 66,6 g
Values are totals to date:	
Carbon Dioxide Uptake⁴ \$66.52	
Carbon Storage ⁴ 353,81 kg	
CO ₂ Equivalent ^{2,4} 1297,29 kg	

4. Вулиця Пирогова, 57

MyTree Benefits For this year.		MyTree Benefits Over 20 years.	
Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)		Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)	
Serving Size: 19.42 cm. diameter		Serving Size: 19.42 cm. diameter	
Condition: Poor		Condition: Poor	
Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна		Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна	
Estimated this year:	\$1.85	Expected over 20 years:	\$42.11
Annual values:			
Carbon Dioxide Uptake	\$0.48	Carbon Dioxide Uptake	\$11.59
Carbon Sequestered ¹	2,57 kg	Carbon Sequestered ¹	61,63 kg
CO ₂ Equivalent ²	9,42 kg	CO ₂ Equivalent ²	225,98 kg
Storm Water Mitigation	\$0.00	Storm Water Mitigation	\$0.01
Runoff Avoided	0,14 L	Runoff Avoided	3,03 L
Rainfall Intercepted	3,05 L	Rainfall Intercepted	68,42 L
Air Pollution Removal	\$1.37	Air Pollution Removal	\$30.52
Carbon Monoxide	3,56 g	Carbon Monoxide	79,8 g
Ozone	151,99 g	Ozone	3405,28 g
Nitrogen Dioxide	19,68 g	Nitrogen Dioxide	440,83 g
Sulfur Dioxide	9,67 g	Sulfur Dioxide	216,71 g
PM _{2.5}	7,76 g	PM _{2.5}	173,96 g
Values are totals to date:			
Carbon Dioxide Uptake ⁴	\$13.49		
Carbon Storage ⁴	71,75 kg		
CO ₂ Equivalent ^{2, 4}	263,1 kg		

5. Вулиця Стрілецька, 62

MyTree Benefits For this year.		MyTree Benefits Over 20 years.	
Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)		Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)	
Serving Size: 39.47 cm. diameter		Serving Size: 39.47 cm. diameter	
Condition: Good		Condition: Good	
Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна		Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна	
Estimated this year:	\$5.92	Expected over 20 years:	\$146.53
Annual values:			
Carbon Dioxide Uptake	\$2.77	Carbon Dioxide Uptake	\$70.37
Carbon Sequestered ¹	14,75 kg	Carbon Sequestered ¹	374,28 kg
CO ₂ Equivalent ²	54,07 kg	CO ₂ Equivalent ²	1372,38 kg
Storm Water Mitigation	\$0.00	Storm Water Mitigation	\$0.03
Runoff Avoided	0,48 L	Runoff Avoided	11,57 L
Rainfall Intercepted	10,83 L	Rainfall Intercepted	261,57 L
Air Pollution Removal	\$3.15	Air Pollution Removal	\$76.16
Carbon Monoxide	8,24 g	Carbon Monoxide	199,09 g
Ozone	351,73 g	Ozone	8495,89 g
Nitrogen Dioxide	45,53 g	Nitrogen Dioxide	1099,84 g
Sulfur Dioxide	22,38 g	Sulfur Dioxide	540,66 g
PM _{2.5}	17,97 g	PM _{2.5}	434,02 g
Values are totals to date:			
Carbon Dioxide Uptake ⁴	\$57.49		
Carbon Storage ⁴	305,8 kg		
CO ₂ Equivalent ^{2,4}	1121,26 kg		



6. Хутір Шевченка , вул. Продольна 29

MyTree Benefits For this year.



Littleleaf linden, (*Tilia cordata*)

Serving Size: 63.66 cm. diameter

Condition: Excellent

Location: Вінниця, Вінницька Область,
Україна

Estimated this year: \$43.83

Annual values:

Carbon Dioxide Uptake \$5.56

Carbon Sequestered¹ 29,57 kg

CO₂ Equivalent² 108,43 kg

Storm Water Mitigation \$0.00

Runoff Avoided 0,91 L

Rainfall Intercepted 20,57 L

Air Pollution Removal \$5.70

Carbon Monoxide 14,88 g

Ozone 634,85 g

Nitrogen Dioxide 82,18 g

Sulfur Dioxide 40,4 g

PM_{2.5} 32,43 g

Energy Usage Per Year³ \$27.58

Electricity Savings 224,1 kWh

Heating Fuel Savings -0,39 MMBtu

Avoided Energy Emissions \$4.99

Carbon Dioxide 93,94 kg

Carbon Monoxide 73,44 g

Nitrogen Dioxide 18,99 g

Sulfur Dioxide 210,06 g

PM_{2.5} 23,19 g

Values are totals to date:

Carbon Dioxide Uptake⁴ \$177.48

Carbon Storage⁴ 944,04 kg

CO₂ Equivalent^{2, 4} 3461,47 kg

MyTree Benefits Over 20 years.



Littleleaf linden, (*Tilia cordata*)

Serving Size: 63.66 cm. diameter

Condition: Excellent

Location: Вінниця, Вінницька Область,
Україна

Expected over 20 years: \$975.99

Carbon Dioxide Uptake \$130.50

Carbon Sequestered¹ 694,17 kg

CO₂ Equivalent² 2545,31 kg

Storm Water Mitigation \$0.05

Runoff Avoided 21 L

Rainfall Intercepted 474,54 L

Air Pollution Removal \$131.26

Carbon Monoxide 343,12 g

Ozone 14 642,51 g

Nitrogen Dioxide 1895,55 g

Sulfur Dioxide 931,82 g

PM_{2.5} 748,03 g

Energy Usage³ \$604.80

Electricity Savings 4905,3 kWh

Heating Fuel Savings -8,43 MMBtu

Avoided Energy Emissions \$109.44

Carbon Dioxide 2062,84 kg

Carbon Monoxide 1608,94 g

Nitrogen Dioxide 416,95 g

Sulfur Dioxide 4610,22 g

PM_{2.5} 507,7 g

7. Вулиця Київська, 180

MyTree Benefits For this year.		MyTree Benefits Over 20 years.	
Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)		Littleleaf linden, (<i>Tilia cordata</i>)	
Serving Size: 60.48 cm. diameter		Serving Size: 60.48 cm. diameter	
Condition: Poor		Condition: Poor	
Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна		Location: Вінниця, Вінницька Область, Україна	
Estimated this year:	\$8.55	Expected over 20 years:	\$188.33
Annual values:			
Carbon Dioxide Uptake	\$3.21	Carbon Dioxide Uptake	\$71.31
Carbon Sequestered ¹	17,05 kg	Carbon Sequestered ¹	379,33 kg
CO ₂ Equivalent ²	62,51 kg	CO ₂ Equivalent ²	1390,89 kg
Storm Water Mitigation	\$0.00	Storm Water Mitigation	\$0.03
Runoff Avoided	0,53 L	Runoff Avoided	11,6 L
Rainfall Intercepted	11,96 L	Rainfall Intercepted	262,3 L
Air Pollution Removal	\$5.34	Air Pollution Removal	\$117.02
Carbon Monoxide	13,94 g	Carbon Monoxide	305,9 g
Ozone	595,03 g	Ozone	13 054,13 g
Nitrogen Dioxide	77,03 g	Nitrogen Dioxide	1689,92 g
Sulfur Dioxide	37,87 g	Sulfur Dioxide	830,74 g
PM _{2.5}	30,4 g	PM _{2.5}	666,89 g
Values are totals to date:			
Carbon Dioxide Uptake ⁴	\$157.26		
Carbon Storage ⁴	836,49 kg		
CO ₂ Equivalent ^{2,4}	3067,12 kg		

Bci

MyTree Benefits		MyTree Benefits	
			
Tree Collection Totals, ()		Tree Collection Totals, ()	
Serving Size: 7 trees		Serving Size: 7 trees	
Estimated this year:	\$82.31	Expected over 20 years:	\$1,828.76
Annual values:			
Carbon Dioxide Uptake	\$16.28	Carbon Dioxide Uptake	\$380.58
Carbon Sequestered ¹	86,59 kg	Carbon Sequestered ¹	2024,34 kg
CO ₂ Equivalent ²	317,49 kg	CO ₂ Equivalent ²	7422,57 kg
Storm Water Mitigation	\$0.01	Storm Water Mitigation	\$0.18
Runoff Avoided	3,29 L	Runoff Avoided	74,3 L
Rainfall Intercepted	74,26 L	Rainfall Intercepted	1679,31 L
Air Pollution Removal	\$24.08	Air Pollution Removal	\$542.44
Carbon Monoxide	62,92 g	Carbon Monoxide	1417,9 g
Ozone	2685,21 g	Ozone	60 507,82 g
Nitrogen Dioxide	347,61 g	Nitrogen Dioxide	7833,05 g
Sulfur Dioxide	170,88 g	Sulfur Dioxide	3850,6 g
PM _{2.5}	137,18 g	PM _{2.5}	3091,11 g
Energy Usage Per Year ³	\$35.37	Energy Usage ³	\$763.77
Electricity Savings	276,88 kWh	Electricity Savings	5994,06 kWh
Heating Fuel Savings	-0,38 MMBtu	Heating Fuel Savings	-8,38 MMBtu
Avoided Energy Emissions	\$6.58	Avoided Energy Emissions	\$141.79
Carbon Dioxide	124,24 kg	Carbon Dioxide	2677,63 kg
Carbon Monoxide	92,52 g	Carbon Monoxide	2000,35 g
Nitrogen Dioxide	24,94 g	Nitrogen Dioxide	537,66 g
Sulfur Dioxide	274,72 g	Sulfur Dioxide	5924,91 g
PM _{2.5}	28,71 g	PM _{2.5}	621,45 g
Values are totals to date:			
Carbon Dioxide Uptake ⁴	\$583.65		
Carbon Storage ⁴	3104,54 kg		
CO ₂ Equivalent ^{2, 4}	11 383,3 kg		

Значення екосистемних послуг на сьогодні є недооціненим, але дають можливість визначити цінність біорізноманіття в природних умовах та в умовах міських екосистем. Ті екосистемні послуги, які ми розраховували для обраних дерев в системі класифікації таких послуг належать до типу «Екосистемні послуги регулювання». Такий тип послуг створює умови для регуляції кліматичних умов, для захисту від стихійних лих, захисту населених пунктів від втрати запасів ґрунтових вод, захисту регулювання процесів ґрунтоутворення в міських екосистемах, для підтримки біорізноманіття. Вважаємо, що для міста Вінниця потрібне комплексне дослідження екосистемних послуг для оцінки прямої (рекреації, транспортування) та опосередкованої (депонування вуглецю та пилу, захист від стихійних лих, захист від шумового та світлового навантаження, регуляція температурного режиму в населених пунктах) вартості використання.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено 7 моніторингових ділянок на території міста Вінниця, що рівномірно охопили всю територію обласного центру.
2. За морфологічними показниками листкових пластинок *Tilia cordata* Mill. розраховано коефіцієнт флуктуаційної асиметрії та надана оцінка стану повітряного басейну моніторингових ділянок. Встановлено, що всі досліджувані території знаходяться в межах умовної норми. Найвищий показник – 0,0091, на моніторинговій ділянці №4 (стадіон Вінницького медичного коледжу ім. акад. Д.К. Заболотного). Найнижчий показник – 0,0289 був на моніторинговій ділянці №1 (Проспект Юності, 59).
3. За допомогою програми «i-Tree MyTree» розраховано обсяг екосистемних послуг досліджених рослин *Tilia cordata* Mill. на один рік та в перспективі на 20 років.
4. За результатами нашого дослідження можна побачити, що повітряний басейн міста в умовно нормальному стані. Це означає що даний вид деревної рослини досить витривалий до різких змін в навколишньому середовищі і його рекомендовано використовувати для озеленення населених пунктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг: <https://buvrpb.davr.gov.ua/vodni-resursy/hidrografichna-merezha>
2. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля // Науково-практичний журнал «Екологічні науки», №1 (46), 2023 , С. 102-108. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.18>
3. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд // Видано БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України» в рамках програми інвентаризації біорізноманіття Ржищівської міської об'єднаної територіальної громади © БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України», 2020.
4. Гаврикова В.С. Біоіндикація урбосередовища за показником флуктуючої асиметрії дерев *Acer saccharinum* L // Науково-практичний журнал «Екологічні науки №6». С. 77-81
5. Гаврикова В.С. Скринінг видів клена (асер) як тест-об'єктів для оцінювання ступеня забруднення навколишнього середовища // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. С. 70-73
6. Гаврикова В.С. Ігнатюк О.А. Динаміка флуктуючої асиметрії листків *Acer platanoides* L. урбанізованих територій // Ecology and noospherology. 2014. С. 35- 44.
7. Гродзинська Г.А. , Небесний В.Б., Гончар Г.Ю., Самчук А.І., Конякін С.М., Мірошник Н.В., Міхеєв О.М., Тесленко І.К., Щур К.Ю. Біоіндикація техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи // Національна академія наук України ДУ «Інститут еволюційної екології». Київ НАШ ФОРМАТ – 2016 123 ст.

8. Екологічний паспорт Вінницької області.
<https://www.vin.gov.ua/upr-ter/stan-dovkillia/239-ekolohichni-pasporty/59322-ekolohichni-pasport-vinnytskoi-oblasti-za-2023-rik>
9. Екологічні аспекти транспортної системи міста: монографія / Лежнева О.І., Желновач Г.М., Очеретенко С.В. та ін. – Харків: Зебра, 2017. С. 118-142.
10. Клімат і рельєф вінницької області. Історія сіл і міст Української РСР. <http://ukrskr.com.ua/vinn/klimat-i-relyef-vinnitskoyi-oblasti>
11. Корисні копалини Вінницької області. Інститут екології.
<https://insgeo.com.ua/korysni-kopalyny-vinnyckoi-oblasti/>
12. Крупей К.С. , Обруч К.І. , Рильський О.Ф. , Склярєнко А.В. , Количева Н.Л. Комплексна екологічна оцінка стану довкілля за індикаторними показниками деревних рослин рекреаційних зон м. Запоріжжя // Науково-практичний журнал «Екологічні науки» №1 (40). 2022. С. 78-84. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.14>
13. Мудрак А.В. . Зоорізноманіття Вінничини: склад, рівні, характеристика // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.10. С.71-81.
14. Прищепа А. М., Борщевська І. М., Буднік З. М., Брежицька О. А., Курилюк О. М. Біоіндикаційна оцінка стану повітряного середовища міста Рівного на основі аналізу флуктуючої асиметрії // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць «Сільськогосподарські науки» Випуск 4(80) 2017, ст.30-38
15. Савосько В.М. , Католіченко О.М. Флуктуююча асиметрія листків берези повислої в умовах аеротехногенного забруднення Криворіжжя // Питання біоіндикації та екології. – 2014. – Вип. 19, № 2. С. 90-102 :
16. Семак У., Миленька М. Морфологічна мінливість фоліарних показників *Populus tremula* L. в умовах техногенного навантаження // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2020. Випуск 82. С. 121–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vlubs.2020.82.10>

17. Семак У.Й. Вплив факторів техногенного трансформованого середовища на рівень флуктуючої асиметрії листкових пластинок деревних рослин // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. Випуск 48. 2020. С. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.24144/1998-6475.2020.48.28-33>

18. Скляренко А.В. Оцінювання впливу промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula* Mill. Запоріжжя // Науковий вісник НЛТУ України. Том 29 № 6 (2019), м. Дніпро, ст. 54-57. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290611>

19. Федорчук І. В., Козак М. І. Інтегральна оцінка забруднення повітряного басейну м. Кам'янець-подільський методом флуктуючої асиметрії // Подільські читання. Охорона довкілля, збереження біотичного та ландшафтного різноманіття, природнича освіта: проблеми, перспективи, рішення : матеріали Всеукр. наук.- практ. конф. Присвячена 25-річчю кафедри екології та біологічної освіти Хмельницького національного університету (11–13 жовт. 2021 р., Хмельницький) / за заг. ред. Білецької Г.А.. Хмельницький : ХНУ, 2021. С. 79-82.