

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет природничих наук
Кафедра екології

Навроцька Вікторія Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 504.06:712:378
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

«Оцінка озеленення закладів освіти (на прикладі ІФНТУНГ)»
(назва роботи)

Екологія
(назва освітньої програми)

101 - Екологія
(шифр і назва спеціальності)

В. В. Навроцька
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Москальчук Н. М., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

М. М. Орфанова.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

М. М. Орфанова
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет природничих наук

Кафедра екології

Освітній рівень другий (магістерський)

Спеціальність 101 Екологія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Навроцька Вікторія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оцінка озеленення закладів освіти (на прикладі ІФНТУНГ)»

керівник роботи Москальчук Наталія Михайлівна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “04” грудня 2025 року № 747/7

2. Строк подання студентом роботи 22.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи нормативні, звітні, наукові та інші джерела

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

ВСТУП, РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, 1.1 Термінологія та загальна характеристика понять щодо озеленення, 1.2 Функціонування та стійкість зелених насаджень в умовах атмосферного забруднення міст, 1.3 Нормативно-методичні засади формування системи озеленення закладів освіти, 1.4 Огляд наукових праць, Висновок до розділу 1, РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ, 2.1 Методика функціонально-просторового аналізу території закладу освіти, 2.2 Методика оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень, Висновок до розділу 2, РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, 3.1 Фізико-географічне розташування та соціально-економічна роль, 3.2 Кліматичні умови, 3.3 Атмосферне повітря, 3.4 Водні ресурси, 3.5 Природоохоронні території та об'єкти, їхній зв'язок із територією досліджень. Флора і фауна, Висновок до розділу 3, РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА, 4.1 Результати функціонально-просторового аналізу території ІФНТУНГ, 4.2 Результати експериментальних досліджень оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень,

Висновок до розділу 4, РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ, 5.1 Рекомендації щодо оптимізації озеленення території університету на основі результатів досліджень, Висновок до розділу 5, ВИСНОВКИ, ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ, ДОДАТКИ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

мультимедійна презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Москальчук Н. М., доц.		
2	Москальчук Н. М., доц.		
3	Москальчук Н. М., доц.		
4	Москальчук Н. М., доц.		
5	Москальчук Н. М., доц.		

7. Дата видачі завдання 10.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Одержання завдання магістерської роботи	10.10.2025 р.	
2	Підготовка 1-го розділу магістерської роботи	10.10.2025 р.	
3	Підготовка 2-го розділу магістерської роботи	29.10.2025 р.	
4	Підготовка 3-го розділу магістерської роботи	15.11.2025 р.	
5	Підготовка 4-го розділу магістерської роботи	02.12.2025 р.	
6	Підготовка 5-го розділу магістерської роботи	15.12.2025 р.	
7	Аналіз результатів та формування висновків	15.12.2025 р.	
8	Оформлення тексту та графічних матеріалів	20.12.2025 р.	
9	Здача магістерської роботи на перевірку	22.12.2025 р.	
10	Захист магістерської роботи	29.12.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Навроцька В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Москальчук Н. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Навроцька Вікторія Володимирівна; «Оцінка озеленення закладів освіти (на прикладі ІФНТУНГ)»; спеціальність: 101-Екологія; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; Факультет природничих наук; Кафедра екології; м. Івано-Франківськ; 2025 р.

У роботі розглянуто методичні основи оцінки озеленення та стану довкілля території закладу вищої освіти з використанням функціонально-просторового аналізу, картографування, біоіндикації та експериментальних лабораторних досліджень. Запропоновано методичний підхід до визначення антропогенних атмосферних осаджень на корі дерев як індикатора техногенного навантаження на зелені насадження.

Охарактеризовано територію Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, проаналізовано природні умови та основні чинники антропогенного впливу. Проведено оцінку просторової структури та рівня озеленення території університету, визначено їх відповідність нормативним вимогам.

На основі отриманих результатів розроблено екологічні рекомендації щодо оптимізації озеленення території ІФНТУНГ, спрямовані на підвищення рівня озеленення, формування зелених бар'єрів, оптимізацію видового складу насаджень і покращення мікроклімату університету.

Ключові слова: ОЗЕЛЕНЕННЯ, ЗЕЛЕНІ ЗОНИ, ЗАКЛАДИ ВИЩОЇ ОСВІТИ, ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ, МІНЕРАЛІЗАЦІЯ, ВОДНЕВИЙ ПОКАЗНИК, ЗАВИСЛІ РЕЧОВИНИ

ABSTRACT

Navrotska Viktoriia Volodymyrivna; «Assessment of greening of educational institutions (based on the example of IFNTUOG)»; specialty: 101-Ecology; Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas; Faculty of natural sciences; Department of Ecology; Ivano-Frankivsk; 2025.

The paper considers methodological foundations for assessing greening and the state of the environment on the territory of a higher education institution using functional and spatial analysis, mapping, bioindication, and experimental laboratory studies. A methodological approach to determining anthropogenic atmospheric precipitation on tree bark as an indicator of technogenic load on green spaces is proposed.

The territory of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas is characterized, and natural conditions and the main factors of anthropogenic impact are analyzed. The spatial structure and level of greening of the university territory are assessed, and their compliance with regulatory requirements is determined. The results of the research reveal spatial heterogeneity in the pH, electrical conductivity, and mineralization of atmospheric deposits, adjusted for suspended solids content.

Based on the results obtained, environmental recommendations were developed to optimize the greening of the IFNTUOG territory, aimed at increasing the level of greening, forming green barriers, optimizing the species composition of plantings, and improving the microclimate of the university.

Keywords: GREENERY, GREEN AREAS, HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS, ELECTRICAL CONDUCTIVITY, MINERALIZATION, HYDROGEN INDEX, PARTICULATE MATTER

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	12
1.1 Термінологія та загальна характеристика понять щодо озеленення.....	12
1.2 Функціонування та стійкість зелених насаджень в умовах атмосферного забруднення міст.....	14
1.2.1 Стрес-фактори зелених зон в урбосистемах.....	14
1.2.2 Механізми впливу атмосферних осаджень на зелені насадження.....	16
1.3 Нормативно-методичні засади формування системи озеленення закладів освіти.....	19
1.3.1 Нормативно-правове регулювання системи озеленення закладів освіти в Україні.....	19
1.3.2 Міжнародні стандарти та рекомендації щодо озеленення закладів освіти.....	22
1.3.3 Методичні та рекомендаційні посібники у сфері озеленення закладів освіти в Україні.....	24
1.4 Огляд наукових праць.....	25
1.4.1 Огляд українських наукових праць.....	25
1.4.2 Огляд іноземних наукових праць.....	26
Висновок до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
2.1 Методика функціонально-просторового аналізу території закладу освіти.....	30
2.2 Методика оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень.....	33
2.2.1 Загальний опис нормативно-методичного забезпечення.....	33
2.2.2 Опис інструментально-лабораторного забезпечення.....	35
2.2.3 Опис методів та підходів відбирання зразків.....	35
2.2.4 Опис методик випробування аналітичних параметрів у зразках.....	37
2.2.5 Опис схеми експериментів та програма досліджень (на прикладі ІФНТУНГ).....	39
Висновок до розділу 2.....	46
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
3.1 Фізико-географічне розташування та соціально-економічна роль.....	47
3.2 Кліматичні умови.....	51
3.3 Атмосферне повітря.....	51
3.4 Водні ресурси.....	59
3.5 Природоохоронні території та об'єкти, їхній зв'язок із територією досліджень. Флора і фауна.....	59
Висновок до розділу 3.....	62
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	63

4.1 Результати функціонально-просторового аналізу території ІФНТУНГ.....	63
4.2 Результати експериментальних досліджень оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень.....	65
4.2.1. Відбирання зразків.....	65
4.2.2. Результати лабораторних випробувань.....	67
Висновок до розділу 4.....	73
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	74
5.1 Рекомендації щодо оптимізації озеленення території університету на основі результатів досліджень.....	74
Висновок до розділу 5.....	77
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
ДОДАТКИ	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

ГДК – Гранично допустимі концентрації

ДСП – Державні санітарні правила

ЗВО – Заклади вищої освіти

ІФНТУНГ – Івано-Франківський національний технічний університет

нафти і газу

КНД – Керівний нормативний документ

МОЗ – Міністерство охорони здоров'я

МТГ – Міська територіальна громада

ПЗФ – Природно-заповідний фонд України

ТЧ – Тверді частки

ТЧ₁₀ – Тверді частки, з діаметром 10 мкм і менше

ТЧ_{2,5} – Тверді частки, з діаметром 2,5 мкм і менше

СО – Оксид вуглецю

ЕС – Електропровідність

NDVI – Нормізований індекс різниці рослинності

NH₃ – Аміак/амоній

NO₂ – Діоксид азоту

NO – Оксид азоту

NO_x – Оксиди зоту

O₃ – Озон

pH – Водневий показник

SO₂ – Сірчистий газ/діоксид сірки

TDS – Мінералізація

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах зростаючої урбанізації, збільшення антропогенного навантаження та проявів сучасних кліматичних змін особливої актуальності набуває питання збереження та розвитку зелених насаджень у межах міст. Території закладів вищої освіти (ЗВО) є важливими елементами міського середовища, що поєднують освітні, соціальні, рекреаційні та екологічні функції, а рівень їх озеленення безпосередньо впливає на якість повітря, мікроклімат, психоемоційний стан студентів і працівників та загальний екологічний стан міста.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) розташований у межах урбанізованої території з характерним транспортним і техногенним навантаженням та водночас у безпосередній близькості до річки Бистриця-Солотвинська і зелених рекреаційних зон. За таких умов проблема відповідності рівня озеленення території університету чинним нормативним вимогам, а також його здатності виконувати природоохоронні й санітарно-гігієнічні функції набуває особливого значення.

Актуальність дослідження зумовлена також необхідністю впровадження сучасних науково-обґрунтованих підходів до оцінки стану зелених насаджень, зокрема із застосуванням функціонально-просторового аналізу та біоіндикаційних методів, що дозволяють виявити вплив атмосферних антропогенних осаджень і рівня озеленення на формування локальних екологічних умов.

Метою магістерської роботи є комплексна оцінка рівня озеленення території Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та розроблення екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо його оптимізації з урахуванням нормативних вимог і результатів експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено вирішення наступних **завдань**:

– аналіз наукових і нормативно-правових джерел щодо озеленення закладів освіти;

- огляд фізико-географічних та екологічних умов території ІФНТУНГ;
- оцінка просторової структури та функціонального використання відкритих просторів університету;
- кількісне визначення структури території ІФНТУНГ, що включатиме визначення площі та частки зелених зон, забудови, інших незабудованих територій (які не є ландшафтно-рекреаційними) у загальній площі університету, а також рівня озеленення відкритих просторів та їх відповідності нормативам;
- проведення експериментальних досліджень атмосферних нашарувань на корі дерев як показника антропогенного навантаження;
- розроблення практичних рекомендацій щодо оптимізації озеленення.

Об'єктом дослідження є територія ІФНТУНГ як елемент міського природно-антропогенного середовища.

Предметом дослідження є стан, структура та функціональні особливості зелених насаджень закладу освіти, а також їх взаємозв'язок з рівнем антропогенного навантаження і екологічними умовами території.

Методи дослідження включають системний аналіз літературних і нормативних джерел, функціонально-просторовий аналіз території, картографічні методи, польові обстеження, експериментальні лабораторні дослідження поверхневих атмосферних нашарувань, статистичну обробку результатів та методи екологічної інтерпретації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у комплексному поєднанні просторової оцінки озеленення території закладу вищої освіти з результатами експериментальних досліджень антропогенних атмосферних осаджень, що дозволило виявити локальні особливості екологічного стану зелених насаджень та обґрунтувати напрями їх оптимізації, а також у розробленні та апробації спеціального методичного підходу до визначення антропогенних атмосферних осаджень на поверхнях дерев як індикатора рівня техногенного навантаження.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів та розроблених рекомендацій у діяльності адміністрації ІФНТУНГ, органів місцевого самоврядування та фахівців з міського озеленення

для покращення екологічного стану територій закладів освіти та формування сталого міського середовища.

Особистий внесок автора магістерської роботи. Усі результати, наведені у магістерській роботі, отримані автором особисто за наукових консультацій керівника роботи. Авторкою самостійно опрацьовано наукові, нормативні та статистичні джерела з проблематики озеленення закладів освіти, виконано функціонально-просторовий аналіз території Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, проведено оцінку рівня озеленення та його відповідності чинним нормативним вимогам. Особисто здійснено польові обстеження зелених насаджень, відбір зразків поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев, лабораторні вимірювання показників рН, електропровідності та мінералізації, а також екологічну інтерпретацію отриманих результатів. Авторкою розроблено та апробовано методичний підхід до визначення антропогенних атмосферних осаджень як індикатора техногенного навантаження, підготовлено картографічні матеріали, виконано аналіз результатів і сформульовано практичні рекомендації щодо оптимізації озеленення території університету. Текстова та графічна частини магістерської роботи оформлені автором самостійно.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та рекомендацій, списку використаних джерел із 75 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг магістерської роботи складає 94 сторінки. Робота містить 34 рисунків, 7 таблиць, 15 формул. Основний зміст роботи викладений на 74 сторінці.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Термінологія та загальна характеристика понять щодо озеленення

Зелені зони (озеленені території) є невід’ємними елементами просторової організації навчальних закладів, що забезпечують формування сприятливих умов для навчання, праці та відпочинку. Система озеленення є не лише складовою благоустрою, а й ключовим чинником екологічної рівноваги території, особливо в умовах урбанізованого середовища [1].

Відповідно до Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України, затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України № 105, від 10.04.2006 р. [2], до озеленених територій відносяться «ділянки землі, на яких розміщена рослинність природного чи штучного походження (садово-паркові комплекси та об’єкти зеленого будівництва)».

Також у вищезгаданому наказі [2] термін «зелені насадження» вживається для позначення деревної, чагарникової, квіткової та трав’яної рослинності природного і штучного походження на визначеній території населеного пункту.

Зелені насадження на території закладів освіти формують умови сприятливого мікроклімату, покращують якість повітря, знижують рівень шуму та пилу, адсорбують шкідливі гази та важкі метали й збагачують повітря киснем [3-13].

Із точки зору професійної діяльності, найбільша увага була акцентована саме на екологічному та санітарно-гігієнічному значенні дерев.

Часто у закордонній літературі використовують термін не «зелені зони», а «зелені простори» (англ. green space). На рисунку 1.1 подано узагальнену причинно-наслідкову схему, що демонструє, яким чином міські зелені простори впливають на здоров’я та добробут населення.



Рисунок 1.1 – Причинно-наслідкова модель впливу міських зелених просторів на здоров'я та добробут (створено автором на основі [3])

1.2 Функціонування та стійкість зелених насаджень в умовах атмосферного забруднення міст

1.2.1 Стрес-фактори зелених зон в урбосистемах. Урбанізація та індустріалізація є провідними чинниками, що сприяють погіршенню якості повітря [14]. Атмосферні аерозолі та тверді частинки ($ТЧ_{2,5}$, $ТЧ_{10}$) є основними забруднювачами повітря у більшості міських районів, особливо у країнах, що розвиваються. Вплив на здоров'я залежить від розміру та концентрацій частинок, при цьому менші частинки становлять більший ризик для здоров'я людини [15].

Фізичні стрес-фактори вуличних дерев можуть виникати через те, що дерево і площа посадки, де воно росте, конфліктують із існуючою міською інфраструктурою (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Приклади викликів, з якими стикаються вуличні дерева в Івано-Франківську: вплив забудови (затіннення), герметичні водонепроникні поверхні, тотальна обрізка

Площа для посадки (наприклад, садники, ями, решітки, диски або клумби) зазвичай займає відокремлені ділянки мілкового та низькоякісного ґрунту вздовж вулиць. Проникність ґрунту в цих зонах зазвичай низька, що призводить до нестачі води, що сприяє загибелі дерев на великих вулицях і поганому здоров'ю. Автомобільний рух і міський стік води призводять до осадження важких металів у ґрунтах вуличних дерев, тоді як солі, які часто використовуються для видалення льоду доріг і тротуарів, можуть призводити до забруднення сіллю, що зменшує ріст дерев.

Особливу групу стрес-факторів для рослин зелених зон на території міст, складають хімічні забруднення атмосферного повітря. Промислові підприємства щорічно викидають в атмосферу мільйони тонн шкідливих речовин, з яких майже чверть припадає на частку підприємств металургійної промисловості. В Україні більше половини токсикантів становлять окиси вуглецю (CO), близько 20 % – пилові частинки, по 10 % сірчистий газ (SO₂) та вуглеводні, решта – окиси азоту (NO_x) та інші домішки. Через кожні 10 років рівень токсичних речовин в атмосфері збільшується вдвоє [16].

Токсичність забруднюючих речовин різко зростає після деякого періоду освітлення сонячними променями. Згідно з теорією Хаагена-Сміта, утворення смогу відбувається в результаті фотохімічної взаємодії його компонентів з атомарним киснем. Діоксид азоту (NO₂), SO₂ і альдегіди здатні поглинати ультрафіолетові промені і переходити в активний стан, атомарний кисень, що вивільняється при цьому, реагує з молекулярним киснем повітря. Частина атомарного кисню може утворюватися із сірчистого ангідриду чи альдегідів. В утворенні озону (O₃) найбільш істотна роль належить діоксиду азоту. Молекула останнього під дією ультрафіолетових променів перетворюється в окис азоту й атомарний кисень. Озон і окисли азоту реагують з органічними домішками повітря, у результаті чого утворюються ненасичені вуглеводні, альдегіди, кетони, кислоти й інші речовини із сильно вираженою фітотоксичною дією [16].

Кислоти, що утворилися, утримуються в повітрі у вигляді рідкого аерозолі, контактуючи з листям, пагонами, корою гілля та стовбурів, викликають точкові ушкодження [16]. Ефекти водневого показника (pH) та

закислення атмосферного осадження не лише залежать від відкладення сірки, а й буферизуючого ефекту лужних іонів, таких як кальцієві іони та іони магнію, які здатні нейтралізувати кислоти і таким чином уповільнювати ефекти закислення. Однак загальний гальмівний вплив кислотних дощів на рослини залишається значним [17]. Дослідження показали, що з кожною одиницею зниження рН кислотних дощів вміст хлорофілу рослин зменшується в середньому на 6,71 %. Ця зміна була відображена у Нормізованому індексі різниці рослинності (NDVI), оскільки NDVI тісно пов'язаний із рослинним хлорофілом, що додатково свідчить про те, що прямий вплив кислотного осадження на ріст рослин можна ефективно контролювати за допомогою методів дистанційного зондування.

1.2.2 Механізми впливу атмосферних осаджень на зелені насадження.

Сухе осадження визначається як процес, за допомогою якого атмосферні частинки осідають на поверхні під дією гравітації, інерції та дифузії без участі опадів. Цей процес відбувається у сухому стані і характеризується густиною потоку, що залежить від кількості концентрацій частинок і швидкості їх осадження. Аерозольні частинки осаджуються з атмосферного повітря шляхом сухої депозиції, вимивання в атмосфері нижче рівня хмар та вимивання у хмарах. Суха депозиція є повільною (триває тижні) для частинок діаметром 0.1-1 мкм (діапазон, у якому ці процеси малоефективні), але дещо швидшою для більших і менших частинок [18].

Осадження в атмосфері нижче хмар полягає у захопленні аерозольних частинок спадаючою вологою (краплями, сніжинками, мрякою, градом тощо). Воно є ефективнішим для більших частинок, оскільки вони менш здатні виходити з траєкторії падіння крапель, ніж менші частинки. Осадження та вимивання в хмарах передбачає видалення розчинених або твердих частинок (ТЧ), що містяться у краплях хмарної води, коли ця хмарна вода видаляється з атмосфери у вигляді опадів. Вимивання у процесі випадання опадів антропогенних сульфатів і нітратів сприяє кислотним випаданням, які впливають на наземні та прісноводні екосистеми [18].

Рослинність, як важливий компонент екосистем, домінує у водних, вуглецевих та енергетичних циклах між сушею та атмосферою, забезпечуючи широкий спектр екосистемних послуг для людини [19, 20].

Тверді частинки можуть відкладатися на поверхні крони рослини або розчинятися у восковому шарі листя (Diener and Mudu, 2021 [21]) (рис. 1.3). Попередні дослідження науковців підкреслювали вплив морфологічних ознак листя на здатність рослин утримувати ТЧ різного складу [22, 23]. Листя з більш шорсткими поверхнями, більш вираженими складками та борознами зазвичай мали більшу здатність утримання. Крім того, груба текстура поверхні підвищує ймовірність осадження частинок і знижує ймовірність повторного суспензування частинок у повітрі [23].

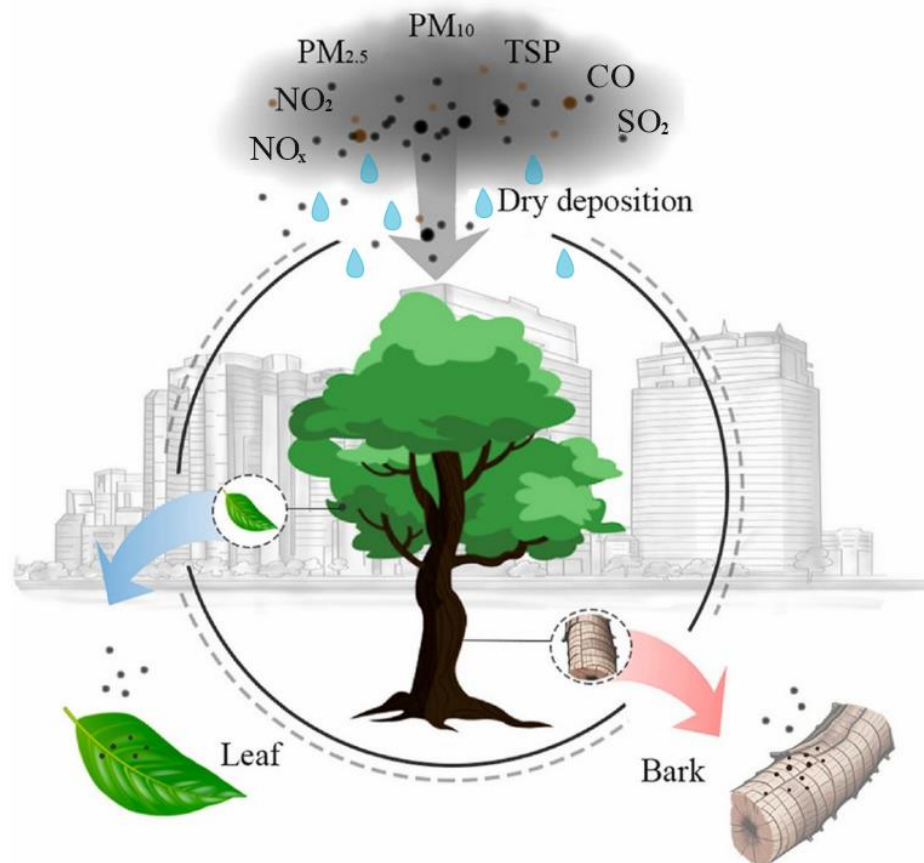


Рисунок 1.3 – Механізм утримання атмосферних забруднювачів листям і корою дерев (створено автором на основі [24])

Дослідження (Manli Wang та ін., 2024 р [24]) також показали, що менші листки, які мають вищий співвідношення площі поверхні до об'єму, ефективніше утримують тверді частинки, ніж великі листки. Крім того, дослідження вивчали динамічні зміни та сезонні відмінності у здатності міської рослинності до

утримання частинок за умов довготривалого забруднення. Хоча більшість досліджень зосереджені на здатності листя утримувати ТЧ, менше досліджень щодо ролі кори дерев у видаленні твердих частинок.

Шорстка та пориста поверхня кори дерев забезпечує ефективне відкладання та прилипання ТЧ. Гігроскопічні та адсорбтивні властивості також допомагають у видаленні забруднень. Дослідження доводять важливість кори дерев як ефективного природного фільтра повітряних забруднювачів останніми роками, однак потрібно більше досліджень, щоб краще зрозуміти внесок кори у видалення ТЧ. Зокрема, потрібні порівняльні дослідження для оцінки відносних можливостей кори та листя [24].

Хоча площа поверхні кори дерева зазвичай менша, ніж у листя на рівні всієї рослини, кора має переваги щодо збереження. Деякі листяні види дерев зберігають здатність видаляти ТЧ, використовуючи кору та стебла під час безлистяного зимового періоду, що особливо важливо, оскільки співпадає з річним піком забруднення твердих частинок. Крім того, дослідження показали, що кора та стебла більш стійкі до поверхневого відкладення ТЧ, ніж листя. Вони можуть витримувати десятиліття впливу забруднювачів, не зазнаючи значних пошкоджень і негативних фізіологічних наслідків. Для порівняння, відкладення ТЧ на листках може блокувати продихи та заважати фотосинтезу, знижуючи життєздатність рослин [25]. Ігнорування функцій та ролі кори може призвести до значної недооцінки ефекту утримання забруднюючих речовин у міських рослинах і, відповідно, екосистемних послуг, які забезпечує міська рослинність. Важливо розуміти значення кори при оцінці здатності міської рослинності утримати тверді частинки [24] та інші забруднювачі.

Міські зелені зони та вуличні рослини слугують біосенсором для моніторингу впливу забруднення повітря від промисловості та транспорту [17]. Сухі та вологі атмосферні осадження можуть створювати прямий і непрямий вплив на рослини, впливати на їхню здатність виконувати екологічні функції. Однак правильне планування та обґрунтовані технічні рішення щодо проектування зелених зон можуть підвищити стійкість та, відповідно, й

екологічні функції рослин для ефективного протистояння хімічним забрудненням атмосфери та зменшення впливу на здоров'я населення.

Видалення забруднювачів повітря міською рослинністю широко визнається сталим і економічно ефективним методом покращення якості міського повітря в цілому.

1.3 Нормативно-методичні засади формування системи озеленення закладів освіти

1.3.1 Нормативно-правове регулювання системи озеленення закладів освіти в Україні. Діяльність із планування, проектування та облаштування зелених зон регламентується рядом українських законодавчих і нормативних документів. Ці нормативи встановлюють базові правила для забудови, зонування, озеленення та санітарного захисту освітніх територій, забезпечуючи безпечні, естетично привабливі й екологічно збалансовані простори для студентів та працівників закладів освіти.

Одним із ключових нормативних документів, на які слід базуватися, є ДБН В.2.2-3:2018 “Будинки і споруди. Заклади освіти” [26] – державні будівельні норми, що визначають вимоги до будівництва та реконструкції освітніх об’єктів, у тому числі університетів, академій і коледжів.

Згідно з цим документом на ділянках закладу освіти слід передбачати такі функціональні зони:

- навчальну (включає навчальні корпуси та територію, що прилягає до них);
- навчально-виробничу (охоплює навчальні полігони та дослідні ділянки (допускається розміщувати поза територією закладу освіти), будівлі з навчально-виробничими майстернями і лабораторіями, навчальні майданчики для початкового керування транспортними засобами);
- навчально-дослідну (у т. ч. теплиця, зоокуточок);
- фізкультурно-спортивну (включає криті та відкриті спортивні споруди та майданчики. При розміщенні фізкультурно-спортивних споруд та майданчиків з

боку вікон навчальних і бібліотечних приміщень профтехучилищ і закладів вищої освіти необхідно вживати заходи щодо захисту від шуму за рахунок озеленення, використання рельєфу місцевості);

– відпочинку (містить майданчики активного відпочинку (можуть прилягати до фізкультурно-спортивної зони, розміщуватись біля входів та виходів з ділянки на вулицю) та майданчики для тихого відпочинку (доцільно розміщувати у комплексі з озелененням);

– господарську (необхідно розміщувати ремонтні майстерні, склади, гаражі, підсобно-виробничі приміщення, інженерні споруди, навіси, які слід об'єднувати в єдиний блок, а також заасфальтовані (бетонні) контейнерні майданчики для збирання побутових відходів згідно з ДСТУ-Н Б В.2.2-7:2013 Настанова з улаштування контейнерних майданчиків [27] та Державні санітарних норм та правил утримання територій населених місць, затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України № 145 від 17.03.2011 р. [28] на відстані від будівель закладів освіти не менше ніж 25 м);

– житлову (із розташованими на ній будівлями гуртожитків для учнів, студентів, аспірантів, слухачів проектується за ДБН В.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій" [29], ДБН В.2.2-15-2019 "Житлові будинки. Основні положення" [30]).

У розділі 5 "Вимоги до забудови ділянок" [26] чітко зазначено, що по периметру земельної ділянки навчального закладу слід передбачати захисну смугу зелених насаджень (дерев, кущів, газону), мінімальна ширина складає 1,5 м, а з боку вулиць – не менше ніж 3 м.

ДБН В.2.2-3:2018 [26] також регламентує питання площі озеленення. За даними цього документа, озеленення земельної ділянки повинна складати 45-50 % від загальної площі (включаючи озеленені місця відпочинку, ділянки для вирощування овочевих та ягідних культур, захисні смуги та посадки з чагарників по периметру ділянки). При приляганні земельної ділянки безпосередньо до зелених масивів (парків, садів, скверів), а також при розміщенні закладів освіти у сільській місцевості або за умов реконструкції площі зелених насаджень допускається скорочувати, але не більше ніж до 30 %.

У підпункті 6.1.25 ДБН Б.2.2-12:2019 [29] зазначено, що: «площа озелених територій обмеженого користування у мікрорайоні, включаючи майданчики для відпочинку, для ігор, занять фізичною культурою, пішохідні доріжки, якщо вони займають не більше 30 % її загальної площі, слід приймати не менше 6 м² на одну особу (без урахування території закладів дошкільної, загальної середньої освіти)». У таблиці 8.2 цього ж нормативного документа встановлено, що рівень озеленення земельних ділянок закладів дошкільної освіти має становити не менш ніж 45 %, тоді як для інших типів закладів освіти передбачено мінімальний показник озеленення на рівні 50 %.

Важливим нормативом є ДСП 173-96 (Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів), затверджені наказом МОЗ № 173 від 19.06.1996 р. [31].

Хоча цей документ не містить окремого розділу, присвяченого саме університетам, його положення поширюються на всі громадські будівлі та території, що включає й інфраструктуру ЗВО. Тому під час планування або реконструкції закладів освіти вимоги щодо створення безпечного, екологічно збалансованого та комфортного середовища застосовуються як обов'язкові.

У розділі 6 ДСП 173-96 [31] окремо підкреслюється необхідність збереження існуючих зелених насаджень обмеженого користування у межах громадських територій, зокрема і закладів освіти та їх обов'язкової інтеграції в нові планувальні рішення.

У підрозділі 1.1 роботи уже згадувалися Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України [2], у яких подано базові визначення понять «озеленені території» та «зелені насадження». Згідно Додатку 5 до розділу 15 Правил, нормативні показники рівня озеленення територій обмеженого користування, а саме закладів освіти, складає близько 50 %.

У контексті тематики озеленення закладів вищої освіти цей документ має важливе значення, оскільки встановлює загальні вимоги до догляду, збереження, реконструкції та відновлення зелених насаджень у межах будь-яких урбанізованих територій, включно з територіями освітніх установ. Правила наголошують, що озеленені території охоплюють ділянки з рослинністю

природного або штучного походження, які виконують екологічні, естетичні та санітарно-гігієнічні функції, а зелені насадження включають деревну, чагарникову, квіткову та трав'янисту рослинність. Також йдеться, що «охороні та відновленню підлягають усі зелені насадження в межах населених пунктів під час проведення будь-якої діяльності...» [2]. Це означає, що території ЗВО підпадають під загальні норми щодо утримання зелених насаджень у межах населених пунктів, а отже, повинні плануватися та експлуатуватися відповідно до встановлених вимог щодо збереження рослинності, забезпечення догляду, проведення санітарних заходів та недопущення її пошкодження чи знищення.

1.3.2 Міжнародні стандарти та рекомендації щодо озеленення закладів освіти. У світовій практиці розвиток зелених просторів ґрунтується як на офіційних міжнародних рекомендаціях, так і на результатах численних наукових досліджень. Провідну роль у формуванні таких підходів відіграють документи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), які мають рекомендаційний і методичний характер та застосовуються у сфері громадського здоров'я й урбаністики. Поряд із ними існує широка доказова база наукових праць, що обґрунтовують екологічні, соціальні та медичні переваги зелених і блакитних просторів. Вказані дослідження не є нормативними, однак формують наукове підґрунтя для розроблення та впровадження рекомендаційних документів.

До світових рекомендацій належать офіційні документи ВООЗ, зокрема звіт «Оцінка значення міських зелених та блакитних просторів для здоров'я та добробуту» (2023) [32], який містить методичні підходи та практичні орієнтири щодо оцінки і розвитку зелених просторів з позицій здоров'я та добробуту населення та «Міські зелені зони, їх вплив на здоров'я: огляд доказової бази» (2016) [33].

Зазначено, що зелені насадження допомагають зберігати вуглекислий газ та збільшують виведення метану з ґрунту. Крім того, зелені насадження збільшують біорізноманіття, пом'якшують наслідки стихійних лих і зменшують вплив теплового стресу. Рослинність допомагає знизити температуру в міських

районах, пом'якшуючи ефект теплового острова і зменшуючи попит на енергію, наприклад, за рахунок зменшення залежності від кондиціонування повітря [32].

У документі [33] наведено узагальнення у світовій практиці наукових даних про вплив зелених зон на здоров'я людини. Чітко підсумовано, що інтервенції, спрямовані на створення або покращення міських зелених просторів, мають потенціал стати одним із ключових інструментів громадського здоров'я, містобудування та соціальної рівності.

На основі зібраних даних і висновків, ВООЗ рекомендує:

- розглядати зелені інтервенції як довгострокові інвестиції у здоров'я та якість життя, а не як короткотермінові проекти;
- інтегрувати озеленення у загальні плани розвитку міста – генплани, транспортну політику, житлове будівництво, політики сталого розвитку та екології;
- передбачати системне утримання, управління, залучення громади та соціальну складову (доступність, безпека, участь мешканців);
- адаптувати інтервенції до конкретного соціального, економічного та культурного контексту міста чи району, особливо якщо мова про вразливі або недостатньо забезпечені громади.

Це означає, що при плануванні озеленення, навіть у рамках освітніх закладів чи пришкільних територій, слід враховувати не лише посадку дерев чи облаштування газонів, а ширшу стратегію розвитку простору з тривалим супроводом і участю громади [33].

Звіт ВООЗ «Міські зелені простори: короткий план дій» [3] відноситься до практичних керівних документів, метаю яких є надання практичних рекомендацій щодо планування, проектування, залучення громади, оцінювання та управління зеленими зонами. Документ виступає робочим керівництвом для урбаністів, управлінців, дослідників та громадських організацій.

До науково-доказової бази, що використовується для обґрунтування таких рекомендацій, належать міжнародні оглядові та прикладні дослідження. Зокрема, робота Braubach M. та ін. (2021) [34] узагальнює сучасні докази впливу зелених і блакитних просторів на психологічне здоров'я. Дослідження Kumar P.

та ін. (2024) [35] аналізує ефективність зеленої та блакитної інфраструктури у зменшенні теплового навантаження в містах, праці Molnár V. É. та ін. (2020) [36], Zhang J., та ін. (2022) [37] та Nkansah, F. K. (2025) [38] зосереджені на екологічних аспектах – ролі рослин як біоіндикаторів забруднення повітря та їхніх реакцій на антропогенний вплив, і не мають рекомендаційного статусу.

1.3.3 Методичні та рекомендаційні посібники у сфері озеленення закладів освіти в Україні. «Каталог природоорієнтованих рішень» [39] та «Каталог зелених рішень» [40] – сучасні українські посібники, які систематизують практичні природоорієнтовані рішення для міських та сільських громад. Вони створені з метою допомогти органам місцевого самоврядування, фахівцям і громадським ініціативам впроваджувати екологічно стійкі підходи до розвитку територій, зберігаючи природні ресурси та підвищуючи якість життя населення.

Обидва каталоги мають багато спільних ідей щодо того, як місцеві громади можуть використовувати природу для розв’язання екологічних, кліматичних і соціальних проблем. До типових рішень, які вони пропонують, відносять:

- озеленення міських просторів – висадка дерев, кущів, створення парків, скверів, зелених зон у містах (покращує мікроклімат, підвищує якість повітря, створює комфортні зони відпочинку);

- зелені дахи і зелені стіни (вертикальне озеленення) – коли дахи чи стіни будівель використовуються для рослинності (допомагає зменшити нагрівання будівель, покращити теплоізоляцію, підтримати біорізноманіття у місті);

- дощові сади/системи управління дощовими водами – створення інфраструктури для збору та утримання дощової води, щоб зменшити ризик підтоплень, ерозії, водного стресу і використовувати воду раціонально;

- простори для біорізноманіття – відновлення або створення зелених куточків, природних ділянок, де може відновлюватися флора і фауна (сприяє збереженню екосистем, підтримці місцевої природи);

– відновлення річкових заплавл, водно-болотних угідь, природних берегів – відновлення природних ландшафтів біля водойм для регулювання вод, зменшення ризиків повеней, підтримки природних екосистем;

– компостування, утилізація біовідходів, раціональне управління відходами природним шляхом – створення органічних циклів, зеленої інфраструктури, яка підтримує кругообіг природних ресурсів, що зменшує навантаження на довкілля.

1.4 Огляд наукових праць

1.4.1 Огляд українських наукових праць. Проблематика озеленення територій закладів освіти неодноразово ставала предметом наукових досліджень, у межах яких аналізувалися підходи до формування безпечного, естетичного та екологічно ефективного озеленого середовища. У наукових публікаціях розглянуто як теоретичні засади, так і практичні рішення щодо планування, реконструкції та підтримання зелених насаджень у закладах освіти.

Бойко Т.О. та Дементьєва О.І. у своїх працях на основі теоретичних та практичних обґрунтувань розглядали питання озеленення загальноосвітніх навчальних закладів міста Херсона з урахуванням екологічних, кліматичних і гігієнічних функцій дерев і чагарників [1, 41]. У статті [41] автори акцентували увагу на створенні проекту реконструкції і озеленення пришкільної території Дніпровська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів (с. Дніпровське, Херсонська область).

Таран Н., Бацманова Л., Шпагін В. [42] аналізують стан і структуру зеленої зони на території кампусу КНУ (Виставковий центр). У статті підкреслюється важливість підбору рослин, адаптованих до місцевих ґрунтово-кліматичних умов, а також з урахуванням рекреаційного навантаження. У статті Бойко Т., Торбіна Л., Завгородня Г. (2021 р.) [13] досліджено вплив озеленення пришкільних територій на формування художньо-естетичного смаку учнів.

Проаналізовано дендрологічний склад та сучасний стан зелених насаджень на території Уманського національного університету садівництва, а також

розроблено науково-обґрунтоване проектне рішення реконструкції партерної частини території (Пушка І. М. та ін. 2022 [43]). Методом експертно-аналітичного дослідження, з урахуванням натурних обстежень, здійснювалися порівняння поточної системи насаджень із вимогами стандартів на прикладі м. Вишгорода (Зібцева, О. В., 2018 [44]). Досліджено як деревні насадження впливають на формування мікроклімату в урбанізованих зонах, особливо з огляду на зміну клімату, потепління, зменшення опадів і зростання урбаністичного навантаження (Светлова Н. Б. та ін. (2019) [45]). Стаття Zhou S., Wang S., Liu H. (2024) [46] досліджує вплив перебування у зелених просторах на психологічне здоров'я студентів під час локдаунів в університетах. Автори аналізують, як доступ до зелених зон і їхнє використання впливає на рівень стресу, тривожності та загальне самопочуття студентів.

У м. Івано-Франківськ науковцями ІФНТУНГ проаналізовано стан зелених і рекреаційних зон, їх відповідність нормативам та окреслено напрями покращення екологічного середовища (Moskalchuk, N., Orfanova, M., 2024 [47]). На основі муніципальних даних та містобудівної документації автори визначили площу зелених територій, структурні елементи та плани їх розвитку.

1.4.2 Огляд іноземних наукових праць. У світі також активно проводяться наукові дослідження, спрямовані на оцінку рівня озеленення та його впливу на різні сфери людського життя. Науковці аналізують як зелені території функціонують у міських середовищах, університетах, зонах рекреації, визначаючи їхній внесок у здоров'я, добробут та якість освітнього процесу.

Проведено систематичний огляд досліджень для з'ясування, чи впливає наявність зелених зон навколо шкіл на навчальні результати учнів (Browning M. H., Rigolon A. (2019) [48]). У роботах Leung W. T. V., та ін. (2019 р.) [49], Kuo M. та ін. (2021 р.) [50] розглянуто, як реалізація зеленої інфраструктури впливає на якість життя у місті, а також чи існують бар'єри, які заважають ефективному розвитку зеленої інфраструктури. У 2022 році дослідники здійснили порівняння озеленення територій університетів у Румунії та Болгарії [51]. У роботі Ow L. F., Mohd. Yusof M. L. (2018) [52] досліджено стійкість чотирьох видів дерев у

міських умовах за різних типів ґрунту: інженерних сумішей і стандартного міського ґрунту.

Одним із важливих аспектів дослідження сучасних міських екосистем є вивчення хімічних параметрів поверхні деревних рослин та взаємодії цієї поверхні з атмосферними осадженнями. Зокрема, рН кори, гілля та природних епіфітних покривів (мохів, лишайників) розглядають як індикатор стабільності мікроекосистеми рослин, а також як чутливий показник впливу міського середовища. Ці характеристики значною мірою визначають умови існування епіфітних організмів і можуть відображати рівень техногенного навантаження, кислотно-лужну рівновагу осаджень та атмосферні трансформації хімічних домішок.

Сучасні дослідження свідчать, що рН кори значною мірою залежить від видової належності дерева. Наприклад, у роботі, присвяченій вивченню рН кори різних таксонів дуба (*Quercus*) у Мармуровому регіоні Туреччини, було встановлено виразні міжвидові відмінності. Автори показали, що рН кори окремих представників роду варіює від слабокислих до майже нейтральних значень, що впливає на видовий склад епіфітних лишайників, зокрема на співвідношення ацидофільних та нітрофільних форм [53]. Древа з більш високим рН кори виявилися сприятливі для розвитку нітрофільних видів, тоді як кисліша кора підтримувала переважно ацидофільні угруповання.

Класичне дослідження Ван Герка, присвячене взаємозв'язку рН кори та забруднення повітря, показало, що ці два фактори діють як незалежні, але рівнозначно значущі детермінанти змін у структурі епіфітних лишайників [54]. Автор встановив, що підвищення рН кори може відбуватись як результат зміни фізіологічного стану дерева, так і впливу атмосферних викидів, особливо аміаку (NH_3) та інших лужних газів. Ці зміни суттєво позначаються на складі лишайникових угруповань, що дозволяє розглядати рН кори як інтегральний показник тривалого впливу атмосферного середовища.

Окремий напрям досліджень (Kovářová M., та ін. (2022) [55]) присвячено ролі епіфітних бріофітів, зокрема мохів, у формуванні кислотно-лужних характеристик поверхні дерева. Це підтверджує, що природні покриви здатні

модифікувати хімічний мікросередовище поверхні рослин та впливати на взаємодію дерев із атмосферними осадженнями.

Важливим є також досвід досліджень, присвячених впливу пилового або газового забруднення на рН кори. Наприклад, у роботах, які аналізували ділянки поблизу цементних комбінатів або кар'єрів, було виявлено суттєве підвищення рН кори дерев у зонах з інтенсивним лужним пиловим осадженням [56]. Автори зробили висновок, що кора, лишайники та ґрунт можуть слугувати тривалими індикаторами лужного пилового забруднення, відображаючи як одномоментне надходження часток, так і кумулятивний ефект відкладень.

Загалом, наявні дослідження підтверджують, що рН поверхні дерев – це комплексний показник, що визначається внутрішніми властивостями виду, характером епіфітного покриву та зовнішніми атмосферними впливами. Водночас серед сучасних робіт помітна прогалина: лише поодинокі дослідження інтегрують одночасне вимірювання рН кори, рН атмосферних осаджень і аналіз пилових та аерозольних забруднень у єдиній системі спостереження. Таким чином, комплексне вивчення взаємозв'язку між хімічними властивостями поверхні рослин та міським атмосферним середовищем, яке передбачено у даному дослідженні, має наукову новизну та значний практичний потенціал.

Отже, вивчення окремих зелених зон на території ІФНТУНГ не проводилося. Дослідження, що виконувалися у м. Івано-Франківськ, стосувалися переважно зелених зон загального користування (парків, скверів, рекреаційних територій), тоді як території закладів вищої освіти як самостійний об'єкт аналізу не розглядалися. Таким чином, зелені простори освітніх установ, зокрема ІФНТУНГ, залишаються недостатньо вивченими.

Висновок до розділу 1

У розділі 1 здійснено комплексний огляд нормативно-правових і нормативно-методичних документів України, міжнародних рекомендацій ВООЗ, а також вітчизняних і зарубіжних наукових праць, присвячених формуванню, функціонуванню та ролі зелених зон у структурі закладів освіти.

Узагальнення наукових джерел і нормативних вимог свідчить про наявність достатньо сформованої теоретичної та регуляторної бази, яка може бути використана для планування, оцінки та розвитку системи озеленення територій закладів вищої освіти.

Водночас встановлено, що, незважаючи на значну кількість досліджень, спрямованих на аналіз міських зелених зон і окремих освітніх установ, жодних спостережень та комплексних досліджень стану й функціонування зелених насаджень на території ІФНТУНГ не проводилися. Це визначає наукову прогалину та обґрунтовує необхідність подальших досліджень, спрямованих на оцінку озеленення університетського простору з урахуванням його екологічного стану, функціонального навантаження та впливу на комфорт і добробут учасників освітнього процесу.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика функціонально-просторового аналізу території закладу освіти

Складовою оцінки озелених територій закладу освіти є функціонально-просторовий аналіз території, спрямований на визначення співвідношення між основними типами землекористування у межах території університету: забудована територія, зелені зони, інша незабудована територія.

Кількісна оцінка структури території ІФНТУНГ включала визначення площі та відсотка зелених зон, забудови, інших незабудованих територій (які не є ландшафтно-рекреаційними) у загальній площі університету, а також рівня озеленення відкритих просторів.

Нормативна основа дослідження ґрунтувалася на положеннях державних будівельних норм України (ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» [29] та Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах [2].

Для проведення просторових вимірювань використано картографічний та геоінформаційний методи. Основним інструментом дослідження слугував програмний застосунок Google Earth, який дозволяє працювати з актуальними супутниковими знімками високої роздільної здатності та виконувати вимірювання площ. Межі території ІФНТУНГ окреслювалася в Google Earth у відповідності до встановлених меж, визначених у кадастровій карті [57].

У межах дослідження здійснювалося візуальне дешифрування супутникових знімків із подальшою векторизацією основних функціональних зон території. Для кожного типу землекористування створювалися окремі контури, за якими визначалися площі. На основі отриманих значень розраховувалися показники за формулами 2.1-2.7.

Розрахунки виконувалися у двох варіантах – з урахуванням та без урахування зелених зон (газону) і твердих покриттів спортивних майданчиків

(стадіону). Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити вплив стадіону на показники озеленення та просторову структуру території університету.

Зелені зони розглядалися як усі озеленені ділянки, у тому числі деревно-чагарниковими насадженнями без врахування газонів спортивних об'єктів.

Визначення частки (%) зелених зон від загальної території закладу освіти:

– без урахування зелених зон (газону) спортивних майданчиків (стадіону):

$$P_{\text{зел}}^{(\text{без ст})} = \frac{S_{\text{зел}}}{S_{\text{заг}}} \times 100 \%, \quad (2.1)$$

– з урахуванням зелених зон (газону) спортивних майданчиків (стадіону):

$$P_{\text{зел}}^{(\text{ст})} = \frac{S_{\text{зел}} + S_{\text{зел.ст}}}{S_{\text{заг}}} \times 100 \%, \quad (2.2)$$

де, $P_{\text{зел}}^{(\text{без ст})}$ – відсоток зелених зон без урахування зелених зон (газону) спортивних майданчиків (стадіону), %;

$P_{\text{зел}}^{(\text{ст})}$ – відсоток зелених зон з урахування зелених зон (газону) спортивних майданчиків (стадіону), %;

$S_{\text{зел}}$ – площа зелених зон, м²;

$S_{\text{зел.ст}}$ – площа зелених зон (газону) спортивних майданчиків (стадіону), м²;

$S_{\text{заг}}$ – загальна площа території закладу освіти, м².

Площа забудови визначалася як сукупність площ, зайнятих будівлями та спорудами у межах їх проекції на поверхню землі, при чому надземні пішохідні переходи не враховувалися.

Визначення частки (%) забудови від загальної території закладу освіти:

$$P_{\text{заб}} = \frac{S_{\text{заб}}}{S_{\text{заг}}} \times 100 \%, \quad (2.3)$$

де, $P_{\text{заб}}$ – відсоток забудови території, %;

$S_{\text{заб}}$ – площа забудованих територій (будівлі, споруди), м².

Незабудовані території, які не є ландшафтно-рекреаційними, визначалися як ділянки з твердим покриттям або функціональними обмеженнями, що унеможливають їх використання для відпочинку (парковки, внутрішні дворики, пішохідні доріжки, проїзди).

Визначення площі інших (не ландшафтно-рекреаційних) незабудованих територій:

– без урахування зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону):

$$S_{\text{нерек}}^{(\text{без ст})} = S_{\text{заг}} - (S_{\text{заб}} + S_{\text{зел}} + S_{\text{ст.дор}} + S_{\text{зел.ст}}), \quad (2.4)$$

– з урахуванням зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону):

$$S_{\text{нерек}}^{(\text{ст})} = S_{\text{заг}} - (S_{\text{заб}} + S_{\text{зел}} + S_{\text{зел.ст}}), \quad (2.5)$$

де, $S_{\text{нерек}}^{(\text{без ст})}$ – площа нерекреаційних незабудованих територій без урахування зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону), м²;

$S_{\text{нерек}}^{(\text{ст})}$ – площа нерекреаційних незабудованих територій з урахуванням зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону), м²;

$S_{\text{ст.дор}}$ – площа бігових доріжок та інших твердих покриттів стадіону, м².

Окремо розраховувався показник озеленення відкритих просторів, який характеризує частку зелених зон у межах незабудованої території. Під відкритими просторами у роботі розуміли сукупність незабудованих ділянок території університету, що включають як зелені зони, так і відкриті поверхні без рослинного покриву. До відкритих просторів не відносилися будівлі та капітальні споруди.

Визначення рівня озеленення відкритих просторів:

– без урахування зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону):

$$R_{\text{озел}}^{(\text{без ст})} = \frac{S_{\text{зел}}}{S_{\text{заг}} - S_{\text{заб}} - S_{\text{зел.ст}} - S_{\text{ст.дор}}} \times 100 \%, \quad (2.6)$$

– з урахуванням зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону):

$$R_{\text{озел}}^{(\text{ст})} = \frac{S_{\text{зел}} + S_{\text{зел.ст}}}{S_{\text{заг}} - S_{\text{заб}}} \times 100 \%, \quad (2.7)$$

де, $R_{\text{озел}}^{(\text{без ст})}$ – рівень озеленення відкритих просторів без урахування зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону), %;

$R_{\text{озел}}^{(\text{ст})}$ – рівень озеленення відкритих просторів з урахуванням зелених зон (газону) та бігових доріжок й інших твердих покриттів спортивних майданчиків (стадіону), %.

2.2 Методика оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень

2.2.1 Загальний опис нормативно-методичного забезпечення.

Експериментальна частина досліджень полягала у визначенні потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень (твердих частинок, пилу недиференційованого за складом, лужних та кислотних аерозолів) на стан зелених зон закладу освіти шляхом відбору зразків та подальшого їх лабораторного аналізу.

Це виконувалося з метою підвищення наукової обґрунтованості оцінки стану деревних насаджень загалом та, відповідно, потенційного порушення здатності виконання зеленими зонами екологічних та екосистемних функцій, що

може бути корисним при плануванні озеленення громадських територій, захисту існуючих зелених зон від надмірного хімічного навантаження.

Метод відбору зразків для дослідження рН поверхневих нашарувань на корі дерев був розроблений на основі підходу, описаного Kricke (2002) у розділі «Вимірювання рН кори» книги «Моніторинг за допомогою лишайників – моніторинг лишайників» (Nimis, Scheidegger, Wolseley) [58]. Запропонований нами метод передбачає оцінку кислотно-лужної реакції кори через контакт з небуферизованим водним розчином: оскільки кора є твердим матеріалом, її рН визначають за змінами рН водного розчину після замочування, що дозволяє оцінити здатність кори та її поверхневих нашарувань підкислювати, підлужнювати або нейтралізувати середовище, а також порівнювати хімічні характеристики різних дерев у контексті моніторингу урбанізованих екосистем.

Планування та виконання лабораторних випробувань проводилося у відповідності до усталених аналітичних практик, керівних документів, рекомендацій наукових настанов з використанням діючих національних методик і стандартів України. Зокрема для відібраних зразків визначалося:

- рН водної витяжки – як характеристику кислотності урбанізованих пилових нашарувань, відповідно до ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD) [59];

- електропровідність (ЕС) – як інтегральний показник сумарного вмісту розчинених іонів, відповідно до ДСТУ EN 27888:2022 Якість води. Визначення електропровідності (EN 27888:1993, IDT; ISO 7888:1985, IDT) та робочої інструкції приладу [60];

- мінералізацію (TDS) (показник загальної мінералізації (англ. total dissolved solids)) – за вимірюваннями ЕС відповідно до ДСТУ EN 27888:2022 Якість води. Визначення електропровідності (EN 27888:1993, IDT; ISO 7888:1985, IDT) [60];

- вміст завислих твердих речовин, відповідно до керівного нормативного документу КНД 211.1.4.039-95 Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах [61].

2.2.2 Опис інструментально-лабораторного забезпечення. Відбір та аналіз зразків здійснювався із використанням матеріально-технічного забезпечення кафедри екології ІФНТУНГ та лабораторії моніторингу вод Західного регіону Дністровського БУВР, що включало:

- аналітичні ваги ABJ 80-4NM KERN-1201-00161;
- лабораторні ваги ТБЕ-0,5;
- шафа сушильна СП-30С;
- ексикатор з силікагелем;
- дозатор лабораторний 0,5-5 мл Eppendorf Research plus;
- рН-метр рН-150МИ;
- кондуктометр КП-150МИ;
- установка фільтрування зразків (колба Бунзена, воронка Бюхнера);
- мірний склопосуд (мірний циліндр 100 мл Labexpert ISO 4788 класу В, конічні колби з градуванням 250 мл APPROX, мірні скляні лійки для переливання 75 мл, скляні стакани Labexpert 150,140 мл та 1000 мл ТС ГОСТ 25336-82, скляні палички для перемішування);
- дистильована вода Helrix, деіонізована вода ES-2815;
- пінцет лабораторний з нержавіючої сталі;
- обеззолені фільтри «Біла стрічка» ТУ 6-09-1678-95 діаметром 1,0 см, масою 0,00075 г;
- поліетиленові пакети високого тиску низької щільності (LDPE) для заморозки із застібкою розміром 150×200 мм;
- бавовняні (100 %) ватні диски розміром 55 мм;
- мікроскоп цифровий MICROMed XS-3330 LED з камерою 5 Мп.

2.2.3 Опис методів та підходів відбирання зразків. Відбирання зразків проводилося способом легкого контактного відбору пилових антропогенних (на хімічно інертних поверхнях) та природних нашарувань (поверхня стовбурів дерев та гілля) попередньо змочених невеликим об'ємом небуферизованої дистильованої чи деіонізованої води. Такий підхід дає можливість наближено відтворити хімічний вплив зволжених аерозольних осадів, які природно

формуються на корі дерев, гіллі та інших елементах урбосистеми. Метод дозволяє уникнути контакту та змішування зразка при та після відбору з хімічно активними буферними системами.

Використання невеликої кількості небуферизованої дистильованої чи деіонізованої води дозволяло змочити пробовідбірний матеріал так, щоб він забирав тільки поверхневі нашарування без зміни їхніх природних властивостей.

Мікропориста волокниста структура ватного диска сприяла ефективному прилипанню частинок різного розміру, забезпечуючи при цьому майже повне перенесення пилу з досліджуваної поверхні на носій, та подальший абсолютний контакт з водою. Контрольована площа контакту, що визначається розміром пробозабірної поверхні диска, дала можливість нормалізувати результати за масою зібраного матеріалу та порівнювати результати між різними ділянками відбору. Легке прикладання пробовідбірної ватної поверхні до поверхні забезпечує повторюваність процедури та зменшує вплив суб'єктивних факторів.

Запропонований метод добре працює на різних типах поверхонь – корі дерев, гіллі, а також інших матеріалах, характерних для міського середовища не пошкоджуючи їх і є достатньо селективним для відбору цільових зразків. Зібраний таким способом матеріал придатний для подальшого екстрагування у воді та визначення рН, електропровідності, мінералізації та вмісту завислих речовин, чи інших показників. Пробозабірний ватний диск не містить домішок, які можуть заважати аналітичним методам, що забезпечує хімічну чистоту розчину та точність отриманих результатів. У підсумку такий підхід дозволяє отримати репрезентативну характеристику урбанізованих пилових нашарувань, які реально осідають на зелених насадженнях.

Загалом суть обраного підходу полягає у тому, що накопичення на пробозабірному зволоженому диску здатні змінювати реакцію середовища спочатку в середовищі зволоженого диска (на етапі вилучення зразків) у польових умовах, а пізніше на етапі підготовки зразків у лабораторії, змінювати рН та інших вимірювальних характеристик точної аліквоти реагентної (дистильованої/деіонізованої) води після його замочування в екстракційній посудині. Після контакту з водою осад може підкислювати, підлужнювати або

нейтралізувати розчин, що дозволяє оцінити кислотно-лужну активність пилових і органічних нашарувань. Таким чином, цей підхід дає змогу швидко та наочно визначити хімічну реакцію та потенційний вплив поверхневих антропогенних осаджень з повітря на зелені насадження без складних підготовчих процедур.

2.2.4 Опис методик випробування аналітичних параметрів у зразках.

Визначення рН водної витяжки – ДСТУ 4077-2001 (ISO 10523:1994, MOD) [59].

Метод визначення рН водної витяжки ґрунтується на потенціометричному вимірюванні кислотно-лужної реакції розчину, який утворюється після контакту дистильованої води з пиловими та органо-мінеральними нашаруваннями. Стандарт ISO 10523:2008 (який модернізує попередню версію 1994 року, адаптовану в ДСТУ 4077-2001) визначає процедуру вимірювання рН для різних типів вод (поверхневих, ґрунтових, стічних), забезпечуючи репрезентативність показника у діапазоні від рН 2 до 12 за температури від 0 °С до 50 °С, за умов іонної сили розчину менше 0,3 мол/кг та електропровідності < 2000 мСм/м.

Процедура включає:

- калібрування рН-метра стандартними буферними розчинами (наприклад рН 4, 7, 10) перед вимірюванням;
- температурну компенсацію (оскільки рН залежить від температури), яку або автоматично здійснює прилад, або коригують вручну до стандартної температури 25 °С;
- вимірювання потенціалу у водній витяжці із зануреним комбінованим рН-електродом до стабілізації сигналу.

Основний принцип – реєстрація електричного потенціалу, що виникає на скляному електроді при взаємодії з іонами водню у розчині. Цей потенціал прямо переводиться у значення рН згідно з рівнянням Нернста, що дозволяє оцінити, наскільки накопичення на пробозабірному диску зумовили підкиснення або підлужнення початкового дистильованого середовища. За таких умов метод потенціометрії є універсальним і чутливим для вимірювання реакції середовища у широкому інтервалі значень.

Електропровідність – ДСТУ EN 27888:2022 (ISO 7888:1985, IDT) [60].

Метод визначення електропровідності водної витяжки вимірює здатність розчину проводити електричний струм, що прямо пов'язано із сумарною концентрацією розчинених іонів. ISO 7888:1985 встановлює, як проводити вимір ЕС для всіх типів вод із стандартною клітинною константою вимірювальної комірки та температурною компенсацією. Суть методу:

- розчин поміщають між двома електродами (часто платиновими або графітовими), підключеними до кондуктометра;
- прилад подає змінний електричний струм і вимірює опір між електродами;
- оскільки іони (катіони та аніони) несуть електричний струм у водних розчинах, величина провідності прямо пропорційна концентрації іонів у витяжці.

При цьому визначена електропровідність коригується до стандартної температури (найчастіше 25 °С) із застосуванням температурних коефіцієнтів, оскільки провідність змінюється з температурою. Метод дозволяє оцінити загальну іонну силу розчину, що включає сумарний вплив усіх присутніх розчинених солей та мінеральних компонентів пилу. Це робить ЕС ефективним інтегральним показником, який відображає загальний розчинений хімічний склад витяжки та його зміни після взаємодії з поверхневими накопиченнями.

Визначення мінералізації на основі ЕС – ДСТУ EN 27888:2022 [60].

Оцінюють опосередковано на основі вимірної електропровідності. У стандарті ДСТУ EN 27888:2022 описано, що ЕС може бути використана для оцінювання кількості розчинених твердих речовин у розчині, бо електропровідність прямо корелює із концентрацією іонів у воді.

Практично це реалізується шляхом застосування емпіричного коефіцієнта k , що відображає середню характеристику іонного складу розчину за формулою 2.8:

$$\text{TDS} = k \times \text{ЕС}, \quad (2.8)$$

де, TDS – мінералізація, мг/л;

ЕС – електропровідність мкСм/см;

k – емпіричний коефіцієнт (0,55-0,8), що залежить від типу розчинених солей.

Такий перерахунок зазвичай застосовують у лабораторній практиці, коли необхідно оцінити загальну концентрацію розчинених речовин без проведення прямих гравіметричних або хімічних методів. Оскільки мінералізація об'єднує всі розчинені компоненти, вона дає важливу інформацію про соляний склад витяжки після взаємодії дистильованої води з пиловими частинками та органікою, що може відображати ступінь впливу урбанізації на хімічні властивості середовища.

Визначення вмісту завислих твердих речовин – КНД 211.1.4.039-95 [61].

КНД 211.1.4.039-95 [61] – це метод гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин у природних і стічних водах, який застосовують для точного оцінювання маси твердих частинок, що перебувають у водній суспензії. Така методика є стандартною при оцінці якості води і передбачає:

- фільтрування проби через попередньо зважений фільтр (паперовий або мембранний) з відомою пористістю;
- сушіння фільтра з осадом до сталої маси при визначеній температурі (близько 105 °С);
- визначення маси фільтра після сушіння.

Для наочного відображення та візуальної ідентифікації завислих твердих частинок у зразках поверхневих нашарувань використовувався цифровий мікроскоп, що дало змогу оцінити морфологічні особливості частинок та їхній характерний розподіл.

2.2.5 Опис схеми експериментів та програма досліджень (на прикладі ІФНТУНГ). Дослідження проводилися у двох основних кластерах – на території ІФНТУНГ та на території парку ім. Тараса Шевченка (контрольована фонова зона), що є пам'яткою садово-паркового мистецтва місцевого значення та входить до складу об'єктів Природно-заповідного фонду України (ПЗФ) міста Івано-Франківська.

Впродовж дослідження на університетській території було відібрано 25 індивідуальних зразків поверхневих нашарувань із кори та гілок дерев різних видів, розташованих у різних функціональних зонах університету (біля центральних проїздів, внутрішніх зелених алеях, поблизу стоянок автомобілів та адміністративних будівель). Такий підхід дозволяв оцінити просторові варіації умов хімічного впливу у межах одного об'єкта з неоднорідним антропогенним навантаженням, що є характерним для урбоекосистем з різнотипними джерелами забруднення.

Окрім індивідуальних зразків із дерев була сформована загальна складена проба антропогенних атмосферних осадів, відібраних із різних типових хімічно-нейтральних урбаністичних поверхонь міської території. Це лабораторно сформований зразок, що відображає середньозважені фізико-хімічні властивості атмосферних осаджень на території міста. У цьому дослідженні складена проба формувалася шляхом об'єднання 20 індивідуальних проб, відібраних із хімічно нейтральних поверхонь (покритий полімерами метал, скло, пластик, гладка кераміка) у різних точках міської території. Кожна індивідуальна проба відображає тривале накопичення атмосферних аерозолів і пилових частинок у певний часовий проміжок. Об'єднання 20 таких проб забезпечує високу репрезентативність та статистичну надійність, дозволяючи оцінити середні значення концентрацій і характеристик забруднювальних компонентів міських осаджень та використовувати їх як еталон для порівняння з локальними пробамі, для визначення розрахункових параметрів оцінки.

З метою врахування вертикальної диференціації аерозольних осадів у міському повітрі, зразки для складеної проби відбирали на різних висотах від поверхні землі, як правило не нижче 1,7 м, а також на рівні 3-6 поверхів, для уникнення надмірного впливу пилу, що піднімається безпосередньо з поверхні землі та інтенсивно накопичується поблизу доріг.

Усі відбори матеріалів виконувалися відповідно до описаних процедур пробовідбору пилових нашарувань, зокрема з використанням змочених пробозабірних дисків для перенесення поверхневих накопичень у лабораторне середовище, де з подальшою підготовкою визначали фізико-хімічні параметри

pH, електропровідність, мінералізацію та масу завислих твердих частинок. Різні зони відбору – урбанізована (університет), контрольна (парк) та складена міська проба, формували просторову матрицю даних, що дозволяє порівнювати реакцію середовища на одиницю маси завислих частинок як функцію антропогенного навантаження та природних умов.

Оскільки різні поверхні дерев накопичують нерівномірну кількість пилу і частинок, а фактична маса матеріалу, зібраного кожним ватним диском, суттєво варіює, всі результати було передбачено нормалізувати за вмістом завислих речовин, отриманих зі 100 мл води. Така нормалізація дозволяє коректно порівнювати зміни pH, електропровідності та мінералізації між різними точками відбору, що особливо важливо для урбоєкосистем із високою просторовою гетерогенністю. Нормалізовані показники розраховували як величину параметра, віднесену до одиниці маси завислих речовин (наприклад, pH/г завислих речовин, ЕС/г завислих речовин, або у вигляді масових коефіцієнтів для TDS), що дозволяє в подальшому інтерпретувати результати не як залежність від об'єму суспензії, а як властивості саме пилових нашарувань.

Нормалізація параметрів (pH, ЕС, TDS) розраховується за формулою 2.9:

$$X = \frac{X_{\text{вим}}}{M_{\text{з.р}}}, \quad (2.9)$$

де, X – нормалізоване значення параметра (pH, ЕС, TDS) на одиницю маси реакційно-здатного матеріалу, од.pH/г, мкСм/(см·г), мг/(дм³·г);

$X_{\text{вим}}$ – вимірне значення параметра (pH, ЕС, TDS), од.pH, мкСм/см, мг/дм³;

$M_{\text{з.р.}}$ – маса завислих речовин у зразку, г (формула 2.10):

$$M_{\text{з.р.}} = M_{\text{вим}} - (M_{\text{2вд}} + M_{\text{ф}}), \quad (2.10)$$

де, $M_{\text{вим}}$ – виміряна маса фільтра та двома ватними дисками із завислими речовинами після висушування, г

$M_{\text{2вд}}$ – маса 2-х ватних дисків, г;

$M_{\text{ф}}$ – маса фільтра, г.

Слід зазначити, що складену пробу (об'єднані 20 одиничних проб) формували в одній ємності об'ємом 1 л, після чого здійснювали ретельне перемішування, а з отриманої суміші відбирали 100 мл для подальшого аналізу. Це виконувалося з метою приведення об'єму складеної проби у відповідність до інших зразків, у яких для аналізу використовували два ватних диски, екстраговані у 100 мл розчину. У зв'язку із цим, масу завислих речовин в аліквоті складеного зразка визначали іншим способом – за формулою 2.11:

$$M_{з.р.}^{с.з.} = \left(M_{ф+з.р.} + \frac{M_{20вд+з.р.}}{10} \right) - (M_{2вд} + M_{ф}) \quad (2.11)$$

$M_{з.р.}^{с.з.}$ – маса завислих речовин в аліквоті складеного зразка, г;

$M_{20вд+з.р.}$ – виміряна маса 20-и ватних дисків із завислими речовинами, отриманих зі 1 л води, г;

$M_{ф+з.р.}$ – виміряна маса фільтра із завислими речовинами, отриманих зі 100 мл води, г.

Для оцінки відхилення нормалізованого параметра конкретного зразка фонові території з урахуванням виду дерева від складеної міської проби антропогенних атмосферних осаджень використовують формулу 2.12:

$$\Delta X_i = \frac{\bar{X}_{\text{вид}} - X^{с.з.}}{X^{с.з.}} \times 100 \%, \quad (2.12)$$

де, ΔX_i – відхилення, %;

$X^{с.з.}$ – нормалізоване значення параметра (рН, ЕС, TDS) складеного зразка атмосферних осаджень урбанізованої території відібраного із штучних хімічно-нейтральних поверхонь, од.рН/г, мкСм/(см·г), мг/(дм³·г).

У випадку рН це відхилення $\Delta X_{рН}$ дозволяє оцінити потенційний вплив антропогенних осадів на кислотно-лужний стан кори дерев та пов'язаних поверхневих організмів (мох, лишайники). Чим менше $|\Delta X_{рН}|$, тим нижчий потенційний ризик стресу, пригнічення біоіндикаторних організмів і порушення життєвих функцій зелених насаджень; чим більше – тим вищий потенційний

ризик їх деградації та порушення природних екосистемних процесів. Розраховані відхилення слугують нормою з якою порівнюватимуться результати аналізу індивідуальних зразків відібраних із зелених зон, які перебувають під ризиком вищого хімічного навантаження в умовах міст. Це значення є фоновією нормою для конкретного виду дерева. Вона показує, наскільки фоновий стан дерев (за видом) за цільовим показником відрізняється від того ж показника у складеній (середній) пробі атмосферних осаджень міської території, що володіють потенційним впливом.

Для надійного визначення величини норми індивідуальні зразки кожного виду дерева відбирають з достатньої кількості представників екземплярів одного виду, та на різних за ступенем покриття частинах стовбурів та гілок дерев, після чого усереднюють нормалізовані значення для кожного виду за формулою 2.13:

$$\bar{X}_{\text{вид}} = \frac{\sum X}{N}, \quad (2.13)$$

де, $\bar{X}_{\text{вид}}$ – усереднене нормалізоване значення для кожного виду дерева, %;

$\sum X$ – сума нормалізованих значень параметра (рН, ЕС, TDS) всіх індивідуальних зразків цього виду дерева, од.рН/г, мкСм/(см·г), мг/(дм³·г);

N – кількість дерев 1-го виду.

Оцінка впливу на зелені насадження території, що оцінюється проводиться за такою схемою:

1) для кожного індивідуального зразка цільової території обчислюють $\Delta X_i^{i.з.}$ за формулою 2.14:

$$\Delta X_i^{i.з.} = \frac{X - X^{с.з.}}{X^{с.з.}} \times 100 \%, \quad (2.14)$$

де, $\Delta X_i^{i.з.}$ – відхилення нормалізованого результату параметра (рН, ЕС, TDS) кожного індивідуального зразка від нормалізованого результату того самого параметру для складеної проби, %;

2) порівнюють це відхилення з фоновією нормою для того ж виду дерева за формулою 2.15:

$$\delta_i = \Delta X_i^{i.3.} - \Delta X_i, \quad (2.15)$$

де, δ_i – різниця між відхиленням кожного індивідуального зразка та фонового відхилення з урахуванням виду дерева, %;

3) інтерпретація:

– якщо $\delta_i \approx 0$, тобто відхилення індивідуального зразка з території що оцінюється близьке до фонового (референційного), фактичного впливу немає;

– якщо $\delta_i > 0$ зразок показує більшу лужність/вищий параметр, ніж фон, можливо, локальний вплив технологічних чи транспортних джерел зміщує рН у лужний бік;

– якщо $\delta_i < 0$, зразок більш кислий/нижчий параметр, що свідчить про підкислення поверхневих нашарувань і потенційний стрес для дерев і епіфітів.

Для інтерпретації результатів створено шкали (табл. 2.1, табл. 2.2), які ґрунтуються на величині відхилення нормалізованого параметра (δ_i) індивідуальних зразків від фонового значення, прийнятого для відповідного виду дерева, і відображає ступінь фактичного антропогенного впливу на поверхневі нашарування та пов'язані з ними деревні організми й епіфіти.

Значення δ_i , близькі до нуля, свідчать про відповідність стану зразка фоновим умовам і відсутність додаткового впливу. Невеликі від'ємні або додатні відхилення характеризують слабкі зміни реакції середовища, що перебувають у межах природної варіабельності. Зростання абсолютної величини δ_i вказує на посилення антропогенного навантаження: додатні значення відображають зсув параметрів у лужний бік, імовірно зумовлений впливом транспортних або техногенних аерозолів, тоді як від'ємні значення свідчать про підкислення поверхневих нашарувань, підвищений ризик фізіолого-біохімічного стресу дерев і пригнічення мохів та лишайників. Таким чином, шкала дозволяє кількісно диференціювати рівні впливу та оцінювати екологічну стійкість зелених насаджень у різних функціональних зонах міста.

Таблиця 2.1 – Шкала екологічної інтерпретації кислотного впливу антропогенних атмосферних осаджень

№	Інтервал δ_i , %	Класифікація стану	Характер зміни параметра	Ймовірні джерела впливу	Екологічна інтерпретація
1	-10 ... +10	Фоновий стан	В межах природної мінливості	Відсутні або дифузні фонові надходження	Антропогенний вплив відсутній або статистично незначущий
2	-25 ... -10	Слабке підкислення	Незначне зниження рН/параметра	NO _x , SO ₂ , міські аерозолі	Можливий короточасний стрес чутливих епіфітів
3	-50 ... -25	Помірне підкислення	Стійке зниження рН	Транспорт, опалення, промислові викиди	Хронічний хімічний стрес для дерев та епіфітів
4	-75 ... -50	Значне підкислення	Різке зниження рН	Високі концентрації кислотних аерозолів	Негативні екологічні наслідки, деградація чутливих видів
5	< -75	Критичне підкислення	Домінування кислотних компонентів	Інтенсивні викиди NO _x , SO ₂	Критичний стан, екологічно небезпечний рівень

Таблиця 2.2 - Шкала екологічної інтерпретації лужного впливу антропогенних атмосферних осаджень

№	Інтервал δ_i , %	Класифікація стану	Характер зміни параметра	Ймовірні джерела впливу	Екологічна інтерпретація
1	-10 ... +10	Фоновий стан	В межах природної мінливості	Відсутні або дифузні фонові надходження	Антропогенний вплив відсутній або статистично незначущий
2	+10 ... +25	Слабке залужнення	Незначне підвищення рН/параметра	Транспортні викиди, пил дорожніх покриттів, побутові джерела	Початковий локальний вплив, біологічний ефект малоімовірний
3	+25 ... +50	Помірне залужнення	Стійке підвищення рН	Будівельний пил, цемент, мінеральні частинки	Систематичний антропогенний вплив, потенційні зміни біодоступності елементів
4	+50 ... +75	Значне залужнення	Різке зміщення параметра	Інтенсивний будівельний або техногенний пил	Порушення природного хімічного режиму поверхневих нашарувань
5	> +75	Критичне залужнення	Домінування лужних компонентів	Потужні локальні джерела (будівництво, промзона)	Високий ризик порушення фізіологічних процесів

Висновок до розділу 2

У другому розділі роботи обґрунтовано та описано функціонально-просторовий аналіз території закладу освіти, що включає визначення площі та частки зелених зон, забудови, інших незабудованих територій (які не є ландшафтно-рекреаційними) та рівня озеленення відкритих просторів.

Розглянуто комплекс методів відбору та лабораторного аналізу поверхневих атмосферних нашарувань, що формуються на деревній поверхні в умовах урбанізованого середовища. Описано застосування контактного способу відбору пилових і аерозольних накопичень із використанням змочених пробозабірних дисків. Для характеристики хімічних властивостей нашарувань пропонується використання поєднання потенціометричного визначення рН, вимірювання електропровідності та оцінки мінералізації водних витяжок разом із гравіметричним визначенням маси завислих твердих речовин.

Також у розділі обґрунтовано підхід до нормалізації аналітичних показників на масу завислих речовин, що дозволяє зменшити вплив нерівномірності пилонакопичення та забезпечує коректне порівняння результатів між окремими зразками, видами дерев і різними територіями. Розглянуто принципи порівняння отриманих значень із фоновими показниками, які використовуються для оцінювання ступеня антропогенного навантаження та ідентифікації територій із підвищеним екологічним ризиком.

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Фізико-географічне розташування та соціально-економічна роль

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу розташований у м. Івано-Франківськ, Івано-Франківського району, Івано-Франківської області (рис. 3.1). Територія ІФНТУНГ знаходиться у межах кварталу, що формується перетином і приляганням вулиць: Карпатської, Флотської, Берегової та Набережної вулиці ім. Василя Стефаника.

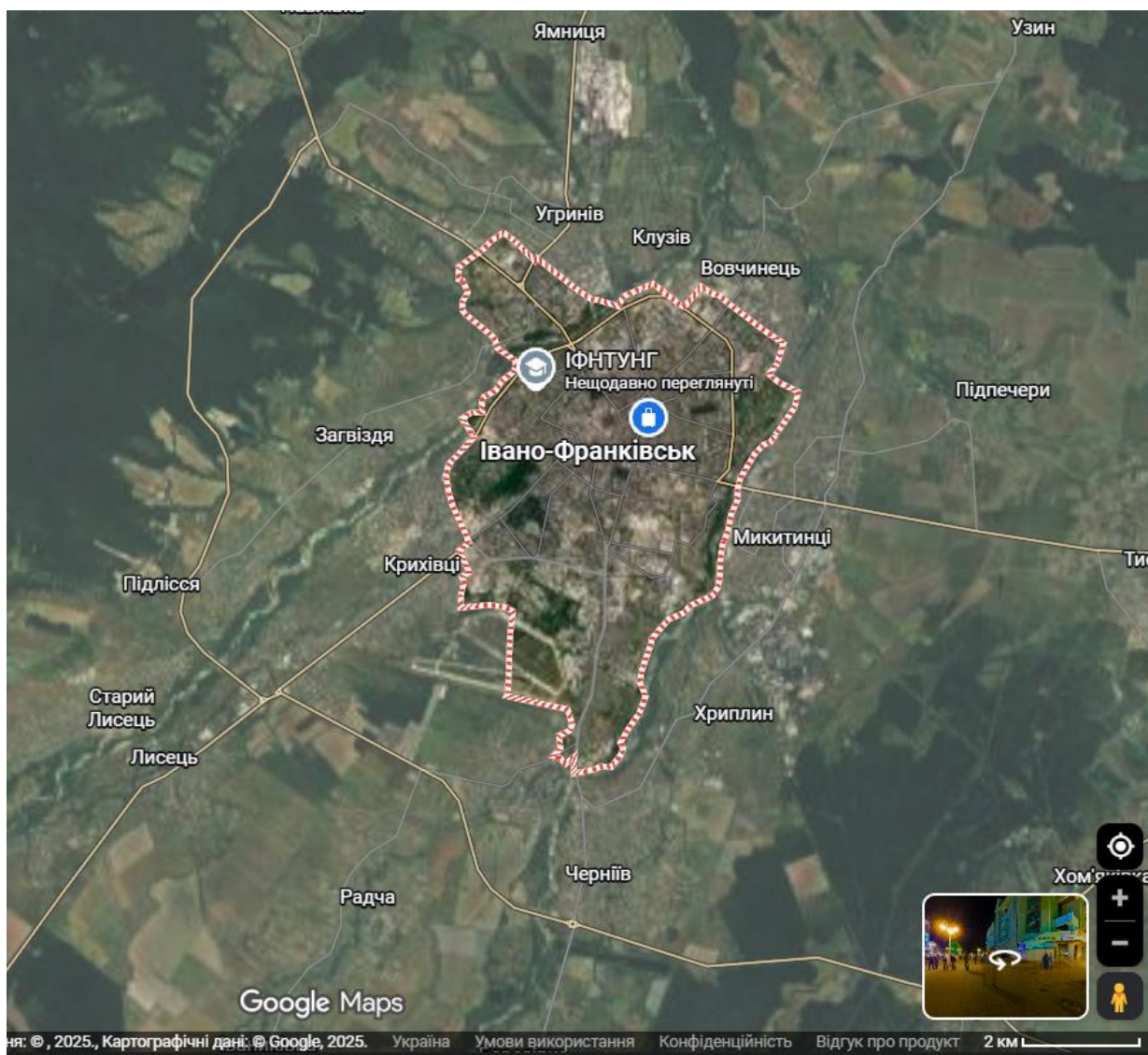


Рисунок 3.1 – Розташування ІФНТУНГ відносно меж м. Івано-Франківськ [62]

Відповідно до Закону України «Про вищу освіту» [63], ІФНТУНГ відноситься до закладів вищої освіти державної власності [57], як «окремий вид установи, яка є юридичною особою приватного або публічного права, діє згідно з виданою ліцензією на провадження освітньої діяльності («діяльність закладів вищої освіти, спрямована на організацію, забезпечення та реалізацію освітнього процесу») на певних рівнях вищої освіти, проводить наукову, науково-технічну, інноваційну та/або методичну діяльність, забезпечує організацію освітнього процесу і здобуття особами вищої освіти, післядипломної освіти з урахуванням їхніх покликань, інтересів і здібностей» (рис. 3.2) [63].

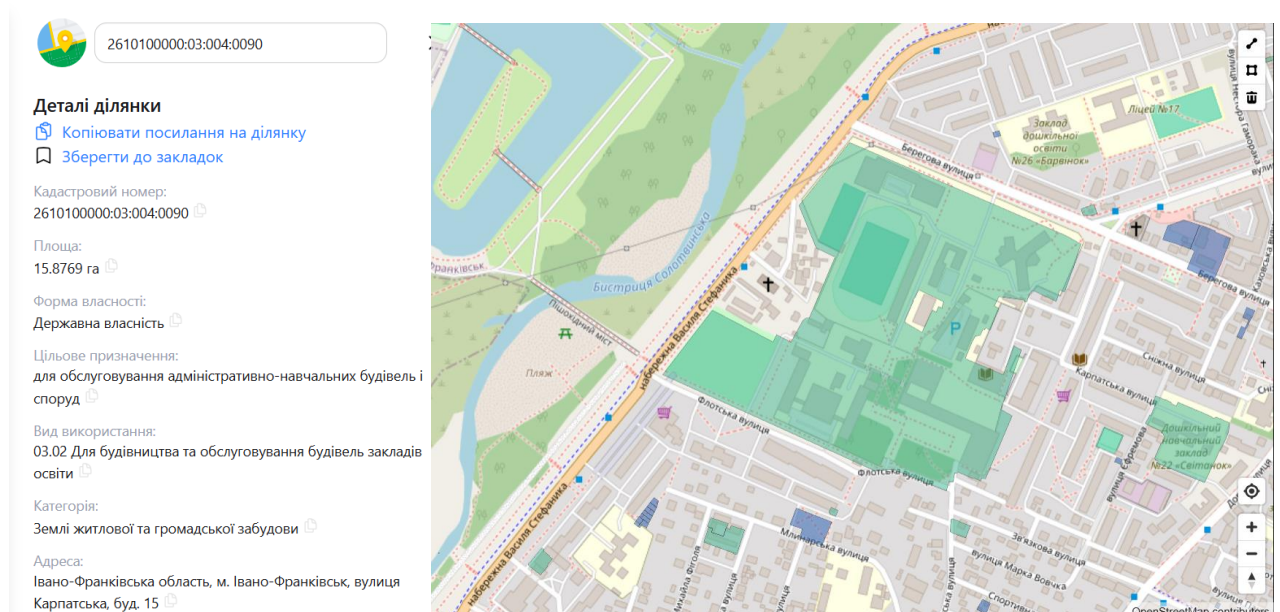


Рисунок 3.2 – Картосхема території ІФНТУНГ [57]

Згідно ДБН Б.2.2-12:2019 [29], університет відноситься до соціальної інфраструктури – «комплекс закладів, установ та підприємств обслуговування, які забезпечують соціальні запити населення у сфері ... виховання й освіти, культури, фізичної культури та спорту ...»

Усі зелені насадження на території ІФНТУНГ належать до категорії обмеженого користування, оскільки Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України [2] зазначають, що до таких насаджень відносяться зелені зони на «територіях ... вищих та ... навчальних закладів, ... культурно-освітніх і спортивно-оздоровчих установ та інші».

Аналогічний підхід застосовано у ДСП 173-96 [31] де у розділі 6 зазначено, що внутрішньоміські зелені насадження за функціональною ознакою поділяються на насадження обмеженого користування, зокрема ті, що знаходяться на житлових територіях, ділянках навчальних закладів, громадських будівель, спортивних споруд, закладів охорони здоров'я та промислових підприємств.

Хоча згідно нормативів, зелені зони ІФНТУНГ належать до ландшафтно-рекреаційних територій обмеженого користування, вони також є доступними не лише для студентів та працівників університету, але й для місцевих мешканців, які використовують їх для прогулянок і короткочасного відпочинку. Це підвищує соціальну значущість зелених зон університету та зумовлює необхідність їх утримання й розвитку з урахуванням потреб ширшого кола користувачів.

У межах території університету площею 15,8769 га [57] розташовані об'єкти, перелік яких наведено відповідно до інформації з офіційного сайту університету [64] (рис. 3.3).

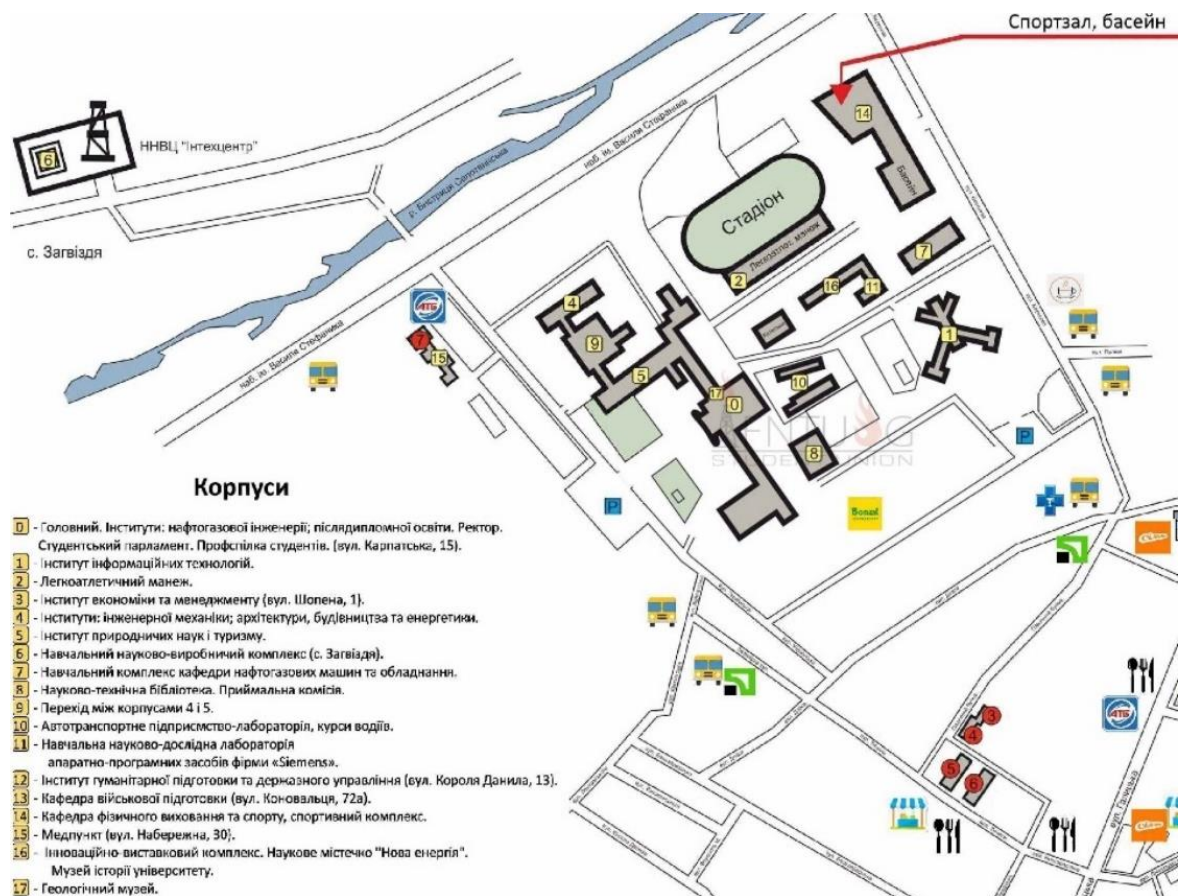


Рисунок 3.3 – Схематичний план розміщення навчальних корпусів ІФНТУНГ [64]

Споруди, позначені на рисунку 3.3 належать до різних функціональних зон, зокрема:

– будівлі 1-го, 4-го, 5-го, 7-го, 9-го та головного корпусів, а також науково-технічна бібліотека формують навчальну зону;

– автотранспортне підприємство-лабораторія та навчальна науково-дослідна лабораторія апаратно-програмних засобів фірми «Siemens» та інноваційний центр – навчально-виробничу зону;

– спортивний комплекс, стадіон і легкоатлетичний манеж – фізкультурно-спортивну зону.

На території університету наявні рекреаційні елементи, зокрема лавочки, встановлені вздовж озеленених зон (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Рекреаційні елементи на території ІФНТУНГ

Загалом у ІФНТУНГ налічується більше семи тисяч здобувачів вищої освіти (студентів, аспірантів, докторантів, курсантів та учнів) [65].

Навчально-виховний процес забезпечує 571 науково-педагогічний працівників, для яких університет є основним видом місцем роботи, із них мають науковий ступінь доктора наук – 85, кандидата наук – 111; вчене звання професора – 67, доцента – 242 та 39 науково-педагогічних працівників, які працюють за сумісництвом (дані станом на 2020 рік) [66].

3.2 Кліматичні умови

Клімат у Івано-Франківській міській територіальній громаді (МТГ) має перехідний характер – від теплого вологого західноєвропейського до континентального східно-європейського з характерною вертикальною біокліматичною проясністю. На Прикарпатті літо тепле, весна дощова, зима м'яка, середня температура січня становила $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, квітня – $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$, липня – $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$, жовтня – $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [67].

Річна кількість опадів коливається у межах 657,7-1252,5 мм. У Карпатах зима довша і більш сувора, літо прохолодне. Клімат у регіоні помірно-континентальний [67].

Упродовж останніх десятиріч в Івано-Франківській МТГ, як і в Україні загалом, фіксуються суттєві зміни кліматичних умов, індикатором яких є температура повітря. Найбільшими темпами зростала температура повітря влітку, коли темпи росту середньої за сезон температури повітря у цей період становили $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{p}$, а середньої максимальної – $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{p}$ і були значно вищими, ніж їхні зміни зимою. У всі майбутні періоди очікується зростання середньої температури повітря як річної, так і по центральних місяцях сезонів у Івано-Франківській МТГ. Загальний фон, а саме середня температура за рік у найближчому майбутньому зросте в середньому на $0,9\text{-}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2021-2040). Зміна кліматичних умов, зазвичай, впливає, на атмосферне повітря, особливо на його якість. Підвищення температури та зменшення кількості опадів сприяють накопиченню забруднювальних речовин у повітрі [67].

3.3 Атмосферне повітря

Відповідно до статистичної інформації Головного управління статистики в Івано-Франківській області у 2024 році від стаціонарних джерел забруднення в атмосферне повітря по Івано-Франківській МТГ потрапило 329,2 т забруднюючих речовин, що на 9,8 % більше, ніж у 2023р. Крім того, у повітряний басейн надійшло 50645,3 т діоксиду вуглецю (на 12,8 % менше, ніж у 2023р.). Дані наведено у таблиці 3.1 [67].

Таблиця 3.1 – Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення по Івано-Франківській міській територіальній громаді у 2024 році [67]

Вид забруднюючих речовин	Тонн	У % до 2023р.	Частка у підсумку, %
1	2	3	4
Усього	329,2	109,8	100,0
<i>Метали та їх сполуки:</i>	7,3	98,4	2,2
- залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	1,0	91,4	0,3
- мідь та її сполуки (у перерахунку на мідь)	6,3	100,0	1,9
- свинець та його сполуки (у перерахунку на свинець)	0,0	–	0,0
- цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк)	0,0	33,3	0,0
- алюмінію оксид	0,0	42,9	0,0
- манган та його сполуки (у перерахунку на діоксид мангану)	0,0	21,1	0,0
<i>Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна):</i>	12,5	104,6	3,8
- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок більше 2,5 мкм та менше 10 мкм	0,7	64,7	0,0
- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок менше 2,5 мкм	1,4	86,5	0,4
- сажа	0,4	144,1	0,1
<i>Сполуки азоту:</i>	60,0	96,7	18,2
- оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту)	55,2	96,3	16,8
- азоту оксид	0,4	80,3	0,1
- аміак	4,4	103,1	1,3
<i>Діоксид та інші сполуки сірки:</i>	3,3	83,7	1,0
- сірки діоксид	0,6	48,1	0,2
- сірководень (H ₂ S)	0,3	102,1	0,1
- сульфатна кислота (H ₂ SO ₄)	2,4	97,5	0,7
<i>Оксид вуглецю</i>	143,5	152,5	43,6
<i>Озон</i>	0,0	100,0	0,0
<i>Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС):</i>	19,9	46,3	6,0
- акрилонітрил	0,0	–	0,0
- ацетальдегід	0,0	38,5	0,0
- ацетон	0,3	25,9	0,1
- бутиловий ефір оцтової кислоти (бутилацетат)	0,3	36,1	0,1
- 1,3-Бутадієн (дивініл)	0,0	–	0,0
- кислота оцтова	1,6	289,8	0,5
- ксилол	1,2	37,4	0,4
- стирол	0,0	–	0,0
- толуол	0,3	18,4	0,1
- фенол	0,0	28,6	0,0
- формальдегід	0,0	8,0	0,0
- 1-Хлор-2,3-епіксипропан (епіхлоргідрин)	0,0	14,1	0,0
- циклогексанон	0,0	7,0	0,0
<i>Метан</i>	82,4	106,8	25,0
<i>Хлор та його сполуки (у перерахунку на хлор):</i>	0,3	115,8	0,1

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
- вініл хлористий	0,0	200,0	0,0
- водню хлорид (соляна кислота по молекулі на HCL)	0,3	109,3	0,1
<i>Фтор та його сполуки (у перерахунку на фтор):</i>	<i>0,0</i>	<i>34,5</i>	<i>0,0</i>
- фтористий водень	0,0	34,5	0,0
Крім того, діоксид вуглецю	50645,3	87,2	x

Результати спостережень свідчать, що загальний рівень забруднення міста в цілому за 2024 рік за індексом забруднення атмосфери характеризувався як низький і становив 3,4.

Упродовж 2024 року перевищення максимально-разових гранично допустимих концентрацій (ГДК) зафіксовано тільки по оксиду вуглецю (1,02 ГДК). Річні максимальні значення у порівнянні з максимально разовими ГДК становили: по пилу – 0,72 ГДК, по діоксиду сірки – 0,08 ГДК, по оксиду вуглецю – 1,02 ГДК, по діоксиду азоту – 0,95 ГДК, по оксиду азоту – 0,20 ГДК [67].

На території університету функціонує станція громадського моніторингу якості атмосферного повітря «ТЗНС ІФНТУНГ» від EcoCity [68]. На рисунках 3.5-3.13 представлені графіки середньодобових значень концентрацій $\text{ТЧ}_{2,5}$, ТЧ_{10} , діоксид азоту, оксид вуглецю, аміаку, озону, а також вологості, атмосферного тиску та температури повітря за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік.

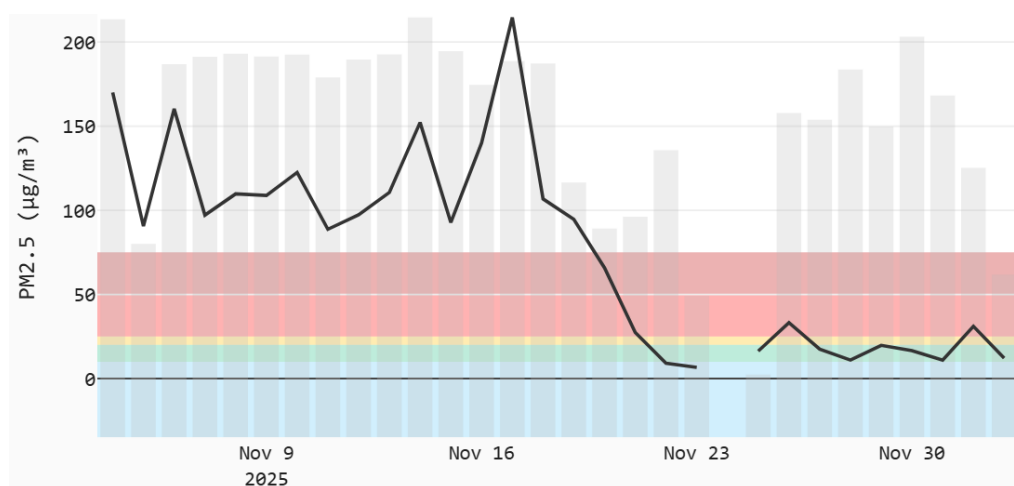


Рисунок 3.5 – Середньодобові значення концентрацій $\text{ТЧ}_{2,5}$ в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

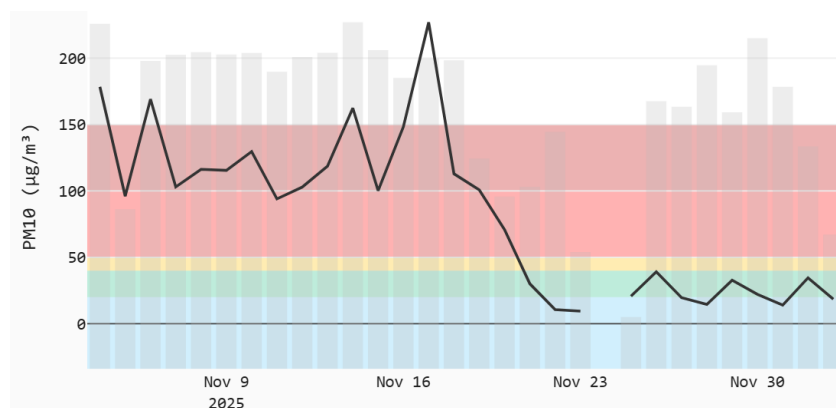


Рисунок 3.6 – Середньодобові значення концентрацій ТЧ₁₀ в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

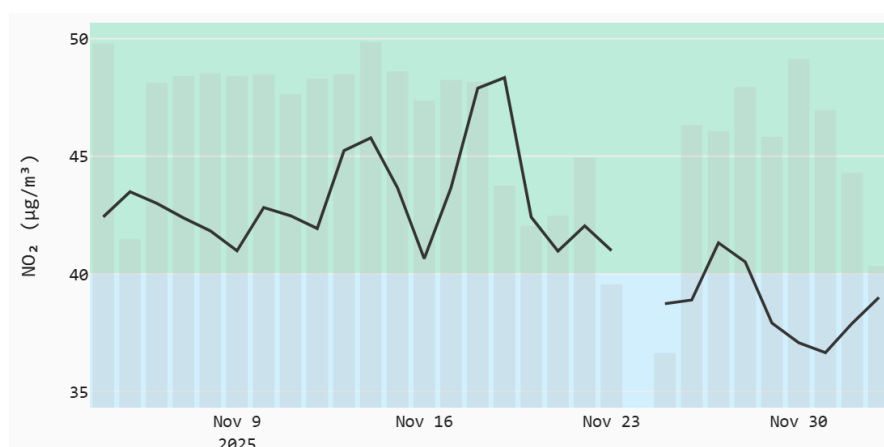


Рисунок 3.7 – Середньодобові значення концентрацій NO₂ в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

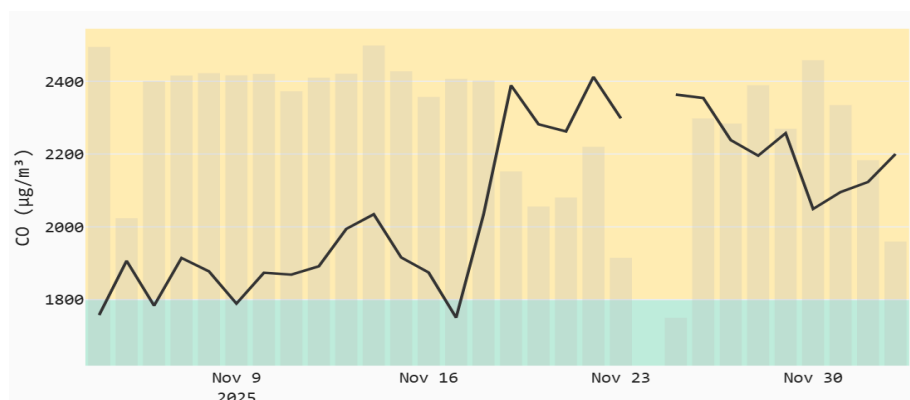


Рисунок 3.8 – Середньодобові значення концентрацій CO в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

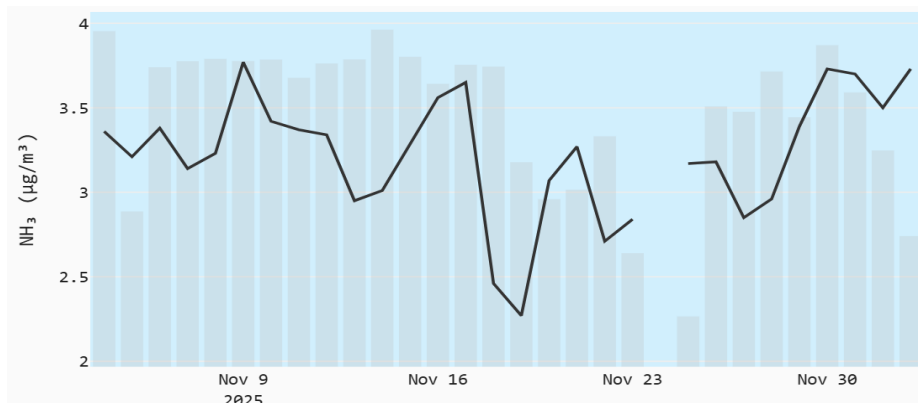


Рисунок 3.9 – Середньодобові значення концентрацій NH_3 в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

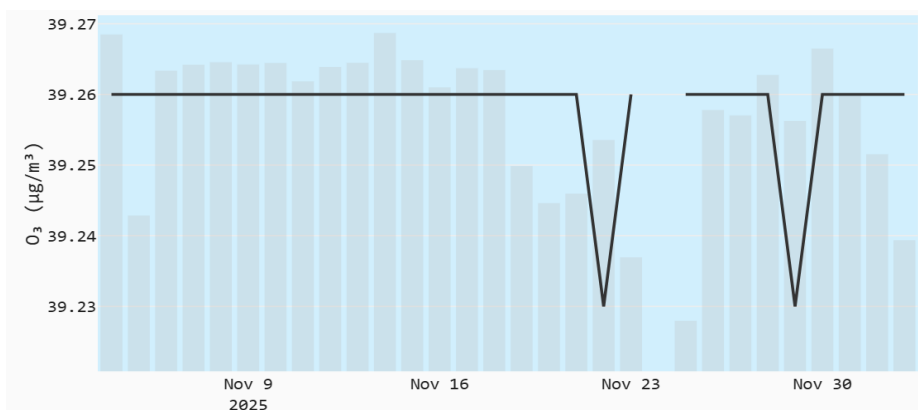


Рисунок 3.10 – Середньодобові значення концентрацій O_3 в атмосферному повітрі, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

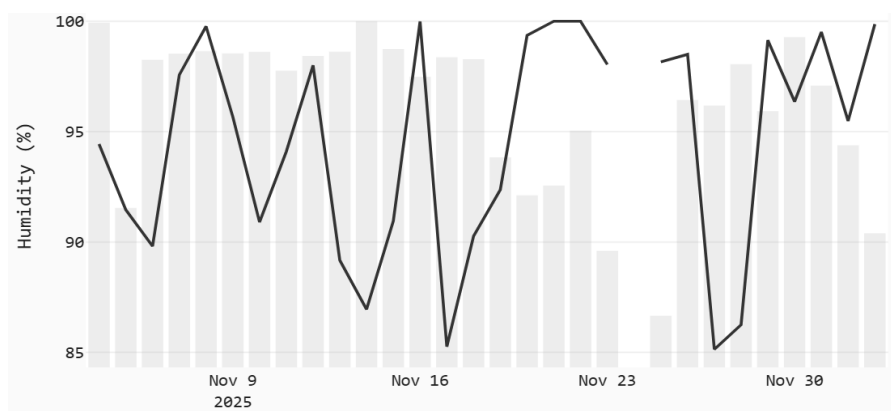


Рисунок 3.11 – Середньодобові значення вологості атмосферного повітря, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

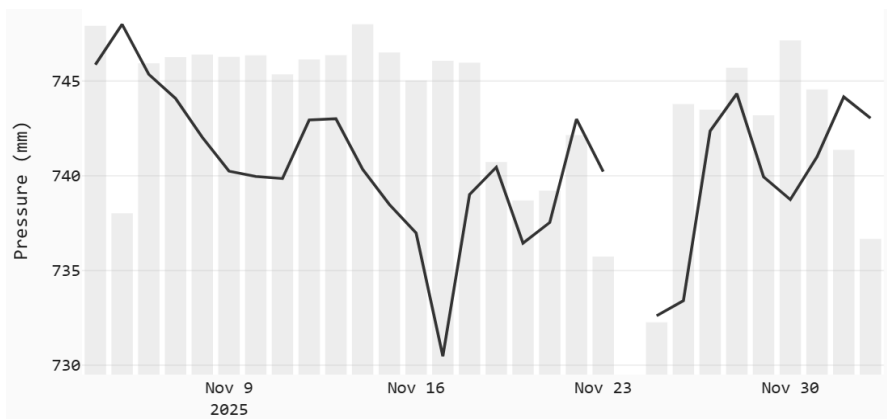


Рисунок 3.12 – Середньодобові значення атмосферного тиску, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

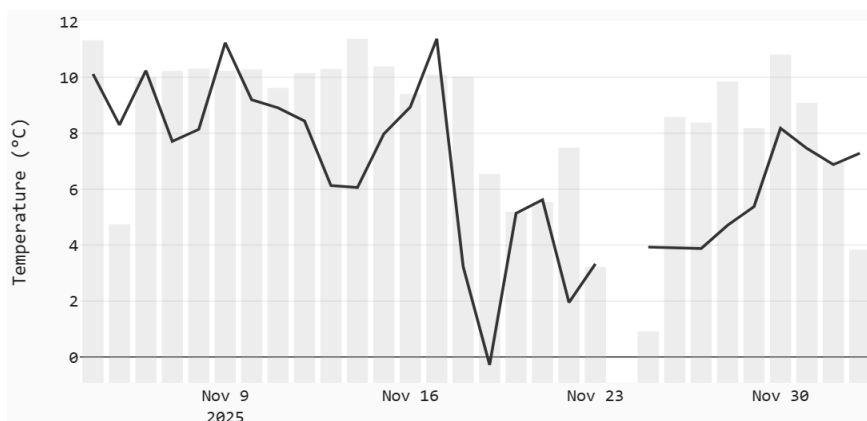


Рисунок 3.13 – Середньодобові значення температури навколишнього середовища, зафіксовані на станції «ТЗНС ІФНТУНГ» за 30-денний період з 04.11.2025 по 03.12.2025 рік [68]

Упродовж досліджуваного 30-денного періоду відзначалася змінна динаміка середньодобових концентрацій дрібнодисперсних частинок $\text{ТЧ}_{2,5}$. Значення цього показника істотно коливалися упродовж усього періоду спостережень. У проміжок з 04.11.2025 р. по 21.11.2025 р., а також 26.11.2025 р. і 02.12.2025 р. фіксувалися підвищені середньодобові концентрації $\text{ТЧ}_{2,5}$, при цьому максимальне значення було зафіксовано 17.11.2025 р. і становило $214,55 \text{ мкг/м}^3$. Мінімальна концентрація $\text{ТЧ}_{2,5}$ спостерігалася 23.11.2025 р. – $6,67 \text{ мкг/м}^3$.

Аналіз середньодобових концентрацій ТЧ_{10} виявив подібну до $\text{ТЧ}_{2,5}$ тенденцію змін. У період з 04.11.2025 р. по 20.11.2025 р. спостерігалися підвищені

значення цього показника. Пікове значення TCH_{10} також було зафіксовано 17.11.2025 р. і становило $226,91 \text{ мкг/м}^3$, тоді як найнижча концентрація ($9,51 \text{ мкг/м}^3$) спостерігалася 23.11.2025 р.

Концентрації діоксиду азоту упродовж досліджуваного періоду мали хвилеподібний характер змін. Незначні перевищення середньодобової гранично допустимої концентрації спостерігалися у період з 04.11.2025 р. по 23.11.2025 р., а також 27.11.2025 р., що свідчить про періодичне посилення впливу антропогенних джерел забруднення.

Середньодобові концентрації оксиду вуглецю упродовж усього періоду спостережень залишалися у межах норми. Мінімальне значення CO було зафіксовано 17.11.2025 р. і становило $1750,49 \text{ мкг/м}^3$, після чого спостерігалася тенденція до зростання концентрацій із досягненням максимального значення 29.11.2025 р., яке склало $2412,03 \text{ мкг/м}^3$.

Аналіз вмісту аміаку показав незначні коливання середньодобових концентрацій упродовж 30-денного періоду без перевищення нормативних значень. Мінімальна концентрація NH_3 була зафіксована 19.11.2025 р. і становила $2,27 \text{ мкг/м}^3$, тоді як максимальне значення ($3,65 \text{ мкг/м}^3$) спостерігалася 17.11.2025 р.

Динаміка середньодобових концентрацій озону характеризувалася відносною стабільністю показників. Середнє значення концентрації O_3 становило близько $39,26 \text{ мкг/м}^3$, із незначними зниженнями, зафіксованими 22.11.2025 р. та 29.11.2025 р. ($39,23 \text{ мкг/м}^3$).

Вологість атмосферного повітря упродовж 30-денного періоду змінювалася у широкому діапазоні. Підвищені значення вологості були характерні для днів із хмарною погодою та опадами, тоді як зниження показника спостерігалася за умов антициклональної погоди. Мінімальні значення вологості, близько 85 %, фіксувалися 17.11.2025 р. та 27.11.2025 р.

Атмосферний тиск упродовж періоду спостережень демонстрував типові для перехідного осіннього періоду коливання, що зумовлено чергуванням циклонічних та антициклонічних процесів.

Температурний режим характеризувався помітними коливаннями: мінімальне значення температури зафіксовано 19.11.2025 р. і становило $-0,28$ °С, тоді як максимальна температура досягала $+11,38$ °С 17.11.2025 р.

Відповідно до вищезазначених даних, на території ІФНТУНГ несприятлива якість повітря (III) [69].

У таблиці 3.2 наведені узагальнені щомісячні показники забруднення атмосферного повітря у м. Івано-Франківськ, отримані за результатами спостережень Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) [70]. Показники $q_{\text{ср}}$ відображають середньомісячні концентрації забруднювальних речовин ($\text{мг}/\text{м}^3$), зафіксовані у період з січня по липень 2025 року. Моніторинг охоплює основні забруднювальні компоненти: завислі речовини, діоксид сірки (SO_2), CO, NO_2 та оксид азоту (NO).

Таблиця 3.2 – Середньомісячні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Івано-Франківськ у 2025 році та їх співвідношення з гранично допустимими концентраціями (створено автором на основі [70])

Місяці	Одиниці виміру	Середньомісячна концентрація ($q_{\text{ср}}$)				
		Завислі речовини	SO_2	CO	NO_2	NO
1	2	3	4	5	6	7
Січень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,1	0,003	1,6	0,04	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,5	1,1	0,5
Лютий	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,14	0,005	1,6	0,04	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,5	0,9	0,4
Березень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,14	0,005	1,7	0,04	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,6	1,1	0,5
Квітень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,13	0,004	1,7	0,04	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,6	1,1	0,5
Травень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,13	0,006	1,6	0,04	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,5	1,0	0,4
Червень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,14	0,006	1,9	0,05	0,04
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,6	1,3	0,6
Липень	$\text{мг}/\text{м}^3$	0,14	0,006	1,9	0,05	0,03
	частка ГДК _{с.д.}	0,9	0,1	0,6	1,3	0,6

Примітка. Частка ГДК_{с.д.} – це відношення середньомісячної концентрації певної хімічної речовини у повітрі ($\text{мг}/\text{м}^3$) до встановленої для неї гранично допустимої середньодобової концентрації, тобто показник $q_{\text{ср}}/\text{ГДК}$.

3.4 Водні ресурси

До значних водних об'єктів Івано-Франківської МТГ належать річки: Бистриця-Солотвинська, Бистриця-Надвірнянська, а також Івано-Франківське міське озеро. Річка Бистриця формується при злитті Бистриці-Надвірнянської та Бистриці-Солотвинської, протікає по території громади і впадає у р. Дністер [67].

Водна мережа міста включає також Міське озеро та Німецьке озеро (штучні об'єкти) та понад 10 малих річок, серед яких Млинівка, Горохолина, Підгородня [67].

Вище на рисунку 3.2 видно, що ІФНТУНГ розташований у безпосередній близькості до річки Бистриця-Солотвинська, яка створює для університету характерне природне оточення та формує важливий екологічний контекст його території.

3.5 Природоохоронні території та об'єкти, їхній зв'язок із територією досліджень. Флора і фауна

Територія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, у відповідності до свого фізико-географічного розташування не належить ані до об'єктів ПЗФ України [71], ані до об'єктів Смарагдової мережі (англ. Emerald network) [72].

Серед найближчих об'єктів до території дослідження є парк ім. Тараса Шевченка – парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва місцевого значення та дендрологічний парк «Дружба» загальнодержавного значення [71].

Карта-схема розташування території дослідження відносно об'єктів Смарагдової мережі приведена на рисунку 3.14.

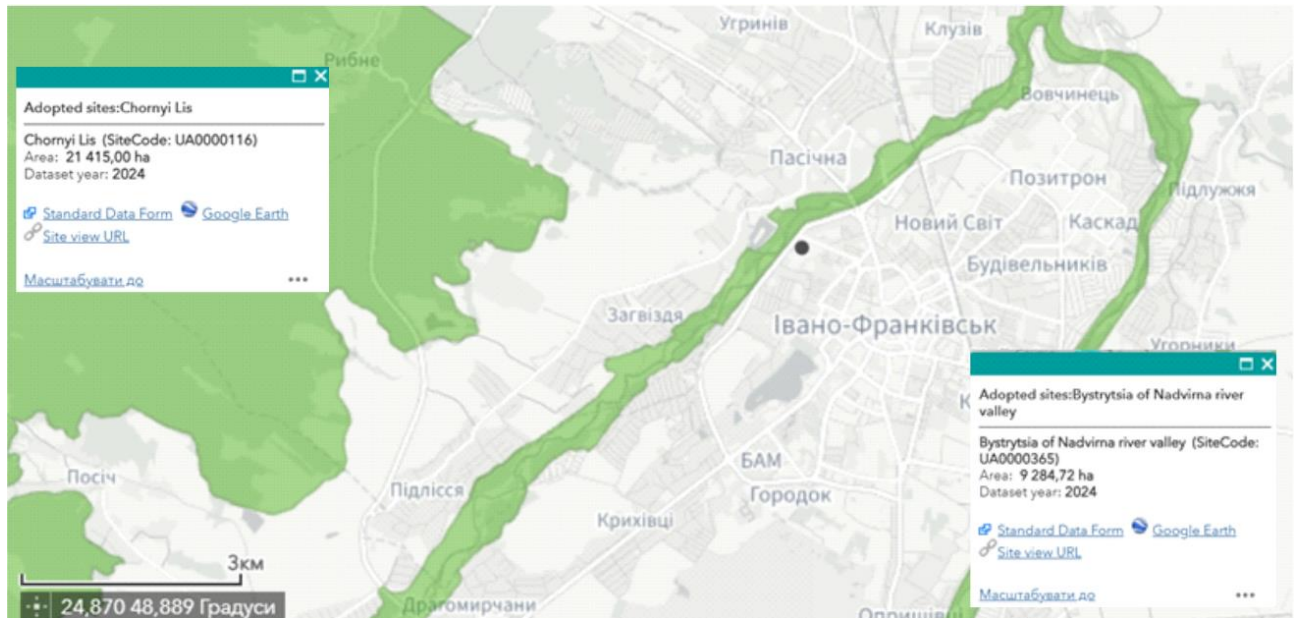


Рисунок 3.14 – Розташування території дослідження відносно об’єктів Смарагдової мережі (створено автором на основі [72])

До території досліджень наближені дві зареєстровані ділянки, що належать до Смарагдової мережі: ділянка UA0000116 Chornyi Lis та ділянка UA0000365 Bystrytsia of Nadvirna river valley.

Відповідно до даних Biodiversity Viewer [73] на території ІФНТУНГ було зафіксовано деякі види птахів, які підлягають охороні (рис. 3.15): горлиця садова (*streptopelia decaosto*), сорока звичайна (*řica řica*), чикотень (*turdus pilaris*) та голуб сизий (*columba livia*).



Рисунок 3.15 – Фіксовані місця перебування деяких видів птахів на території ІФНТУНГ [73]

Серед зафіксованих видів птахів відсутні інвазивні або такі, що перебувають під загрозою зникнення в Україні.

На території ІФНТУНГ та на прилеглих до неї ділянках зростають деревні насадження, видовий склад яких було досліджено в межах даної роботи. Перелік виявлених деревних видів наведено у розділі 4, де представлено як аборигенні, так і інтродуковані види, що формують зелені насадження досліджуваної території.

Зокрема, клен ясенелистий (*Acer negundo*) є інвазивним видом на території України [74], тоді як дуб канадський (*Quercus rubra*), клен ясенелистий (*Acer negundo*) та катальпа (*Catalpa*) є інтродукованими і непритаманними природній флорі України [75]. Решта видів належать до аборигенної дендрофлори або є давно натуралізованими та не мають охоронного статусу.

Висновок до розділу 3

У розділі наведено комплексну характеристику території Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу як об'єкта дослідження. Визначено фізико-географічне розташування, функціональне зонування та соціально-економічну роль університету у структурі міста. Охарактеризовано кліматичні умови регіону та відзначено прояви сучасних кліматичних змін, які впливають на стан довкілля.

Проаналізовано якість атмосферного повітря на міському рівні та безпосередньо на території ІФНТУНГ, що загалом відповідає нормативним вимогам, однак характеризується періодичними підвищеннями концентрацій окремих забруднювальних речовин. Розглянуто водні ресурси та наявність природоохоронних території, включно з близькістю до об'єктів Смарагдової мережі та об'єктів Природно-заповідного фонду України й особливостями флори і фауни.

Отримані результати формують основу для подальших екологічних досліджень і обґрунтування заходів, спрямованих на покращення стану довкілля та розвиток зелених насаджень на території університету.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

4.1 Результати функціонально-просторового аналізу території ІФНТУНГ

У результаті оцифрування картографічних матеріалів на рисунку 4.1 у межах території ІФНТУНГ виділено та векторизовано: бігові доріжки та інші тверді покриття стадіону, забудовані території, зелені зони, зелені зони у вигляді газонів спортивних майданчиків (стадіону), а також надземні переходи у межах території ІФНТУНГ.

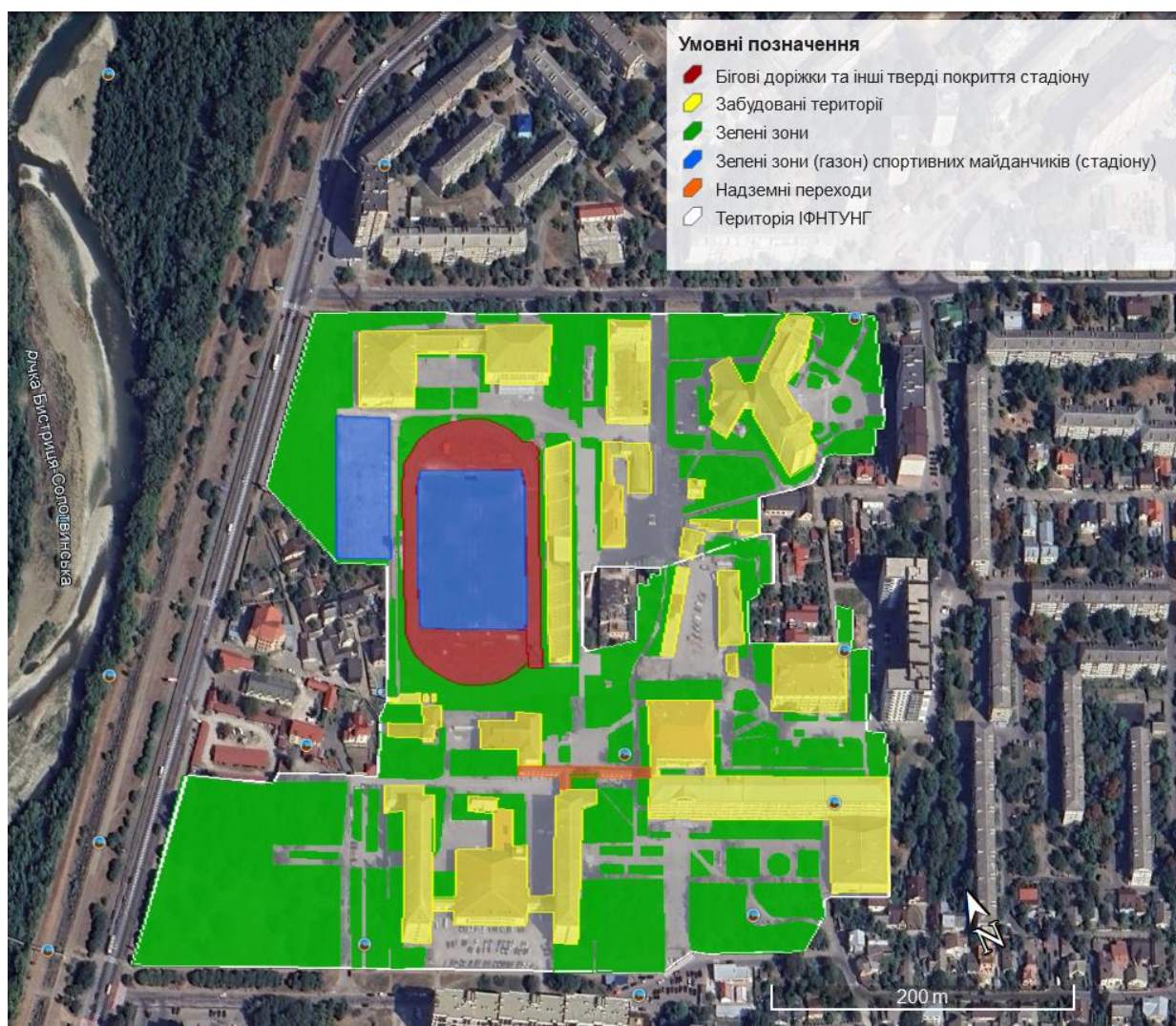


Рисунок 4.1 – Карта-схема функціонального зонування території ІФНТУНГ

За результатами оцифрування загальна площа території ІФНТУНГ становить 158769 м², з яких площа зелених зон складає 62045 м², площа забудованих територій – 30680,4 м². Площа бігових доріжок та інших твердих покриттів стадіону становить 22405 м², тоді як площа зелених зон у вигляді газонів спортивних майданчиків стадіону – 10964 м².

За результатами розрахунків за формулами 2.1-2.7 встановлено, що відповідність частки зелених зон території ІФНТУНГ до нормативних залежить від урахування площ спортивних майданчиків. Без урахування газонів стадіону рівень озеленення становить 39,08 % від загальної площі, що є нижчим за нормативні значення 45-50 % відповідно до ДБН В.2.2-3:2018 [26]. З урахуванням зелених зон спортивних майданчиків цей показник зростає до 45,98 %, що входить до мінімально допустимих значень. Водночас отримані результати свідчать про невідповідність рівня озеленення території ІФНТУНГ нормативу не менше 50 %, встановленому ДБН Б.2.2-12:2019 [29]. Разом з тим, відповідно до Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України [2], отримане значення 45,98 % можна вважати допустимим (близько 50 %).

Частка забудованої території ІФНТУНГ становить 19,32 % від загальної площі, що вказує на переважання відкритих просторів у структурі землекористування. Площа інших (не ландшафтної-рекреаційних) незабудованих територій без урахування зелених зон та твердих покриттів спортивних майданчиків складає 32 674,6 м², тоді як з урахуванням цих елементів вона зростає до 55 079,6 м². Це свідчить про наявність значного територіального резерву, який може бути використаний для підвищення рівня озеленення та функціонального покращення відкритих просторів.

Рівень озеленення відкритих просторів ІФНТУНГ є відносно високим і становить 65,5 % без урахування зелених зон та елементів спортивної інфраструктури і 57 % з їх урахуванням. Це свідчить про достатній потенціал відкритих просторів щодо виконання екологічних, рекреаційних та санітарно-гігієнічних функцій.

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що загальний рівень озеленення території ІФНТУНГ перебуває на межі відповідності нормативним

вимогам і значною мірою залежить від включення до розрахунків зелених зон спортивних майданчиків. Це обґрунтовує доцільність збереження та розширення зелених насаджень, а також оптимізації використання інших (не ландшафтно-рекреаційних) незабудованих територій із метою забезпечення сталого розвитку та покращення екологічного стану території закладу.

4.2 Результати експериментальних досліджень оцінки потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень

4.2.1. Відбирання зразків. Відбір зразків поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок проводився 07.12.2025 р. Відбір зразків у межах парку ім. Тараса Шевченка та на території м. Івано-Франківськ (у вигляді загальної складеної проби антропогенних атмосферних осадів) здійснювався 08.12.2025 р. Лабораторний аналіз усіх зразків проводився на кафедрі екології ІФНТУНГ у період 08.12.2025 р.-09.12.2025 р.

Пробовідбір (рис. 4.2) здійснювався відповідно до методики, описаної у розділі 2.



Рисунок 4.2 – Процес відбору зразків

На рисунку 4.3 позначені місця розташування точок відбору зразків на території ІФНТУНГ та прилеглих ділянках, а на рисунку 4.4 – точки відбору зразків у межах парку ім. Тараса Шевченка.

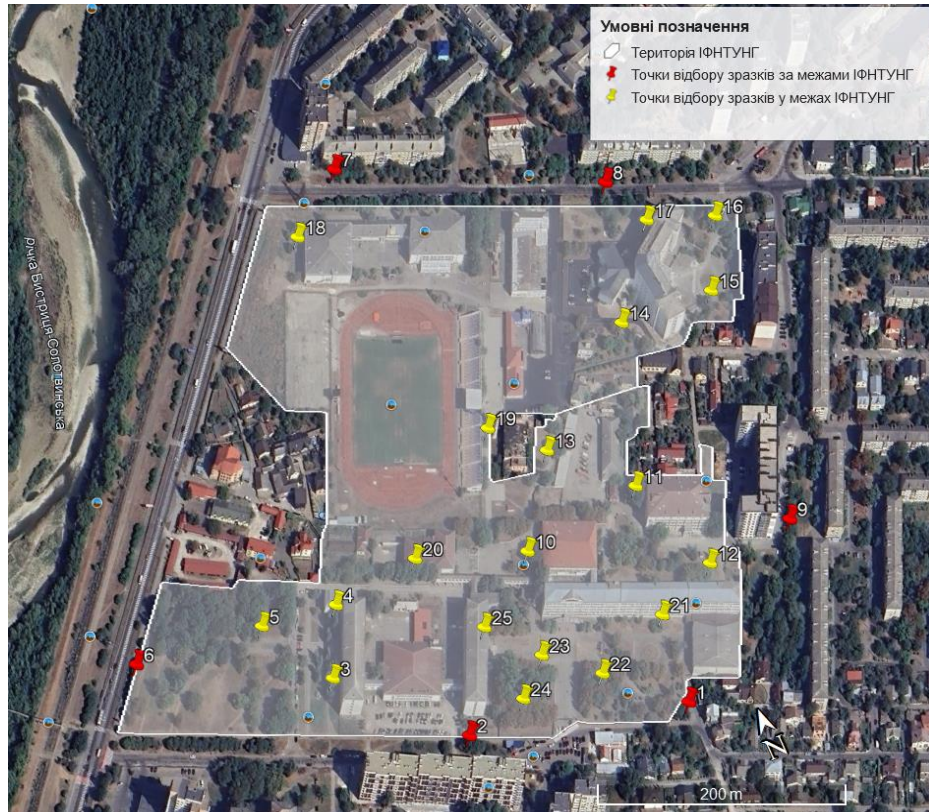


Рисунок 4.3 – Карта-схема території ІФТУНГ із позначенням точок відбору зразків

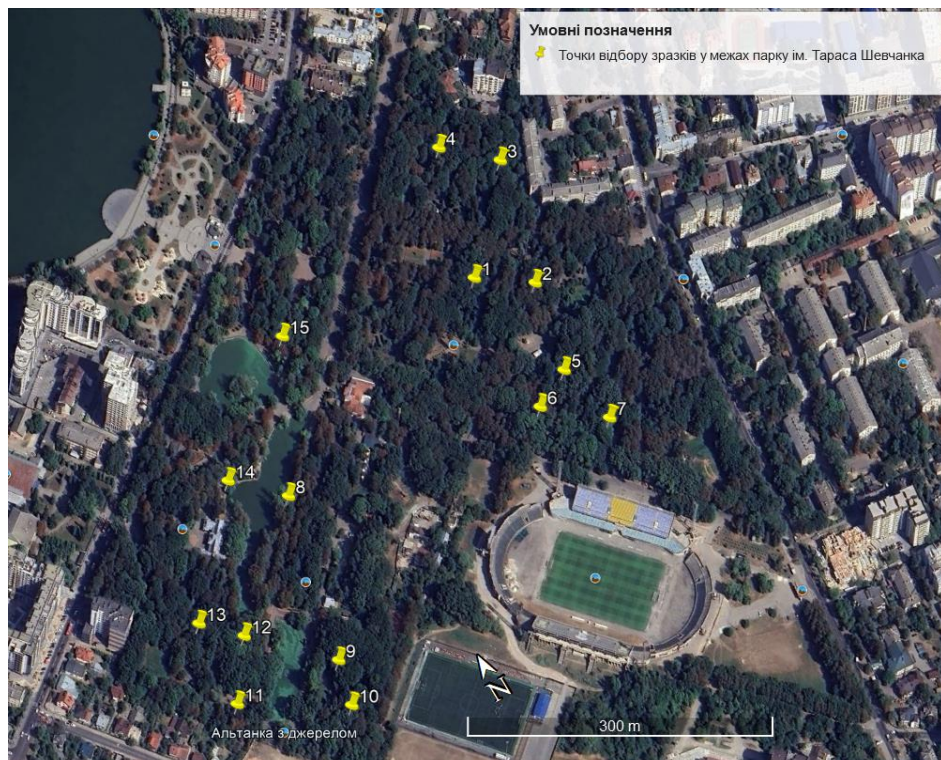


Рисунок 4.4 – Карта-схема розміщення точок відбору зразків у межах парку ім. Тараса Шевченка

Також відбиралася складена проба, сформована об'єднанням 20 індивідуальних проб, взятих із хімічно нейтральних поверхонь (покритий полімерами метал, скло, пластик, гладка кераміка) у різних точках міської території вздовж вул.: Незалежності (поблизу Драмтеатру), Української Перемоги, В. Чорновола, Г. Мазепи, Т. Шевченка, Карпатської, Пулюя, Тичини, Набережної ім. В. Стефаніка, Берегової, Короля Данила, Південного та Північного бульварів, а також у районі міського озера та парку ім. Тараса Шевченка.

Загальний вигляд відібраних зразків представлений на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд відібраних зразків

Характеристика основних параметрів точок відбору зразків поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев наведена у Додатку А: у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок – таблиці А.1, у межах парку ім. Тараса Шевченка – у таблиці А.2, а на рисунках А.1 та А.2 представлені частки певного виду дерев у загальній кількості досліджених у відповідних межах ділянок.

4.2.2. Результати лабораторних випробувань. У Додатку Б представлено підбірку зображень, зроблених у ході проведення експериментальних лабораторних випробувань (рис. Б.1). Наведені зображення ілюструють основні етапи виконання робіт та окремі елементи процесу випробувань, метою яких є визначення потенційного впливу антропогенних атмосферних осаджень (твердих

частинок, пилу недиференційованого за складом, лужних та кислотних аерозолів) на поверхнях об'єктів довкілля, зокрема корі дерев.

За допомогою цифрового мікроскопа розглянуто фрагмент ватного диска, попередньо змоченого реагентною (деіонізованою) водою, використаного для відбору, на прикладі 12-го зразка на території ІФНТУНГ, шляхом протирання стовбура та гілля дерев. Отримані мікроскопічні зображення дають змогу проаналізувати морфологічні характеристики частинок, що осіли на поверхні кори та були відібрані у процесі дослідження. Відповідні зображення проби подані нижче у Додатку Б (рис.Б.2).

На підставі аналізу мікроскопічних зображень встановлено, що у відібраних зразках присутній різномірний комплекс частинок, які осіли на поверхні кори та гілля дерев. На зображеннях ідентифіковано мінеральні та органічні частки, фрагменти поверхневих тканин кори, а також волокна ватних дисків, використаних під час відбору зразків. Окремо зафіксовано наявність крапель води, що свідчить про попереднє зволоження матеріалу деіонізованою водою. Виявлене поєднання природних компонентів (фрагменти кори, моху, органічні частки) та дрібнодисперсних мінеральних включень підтверджує накопичення на поверхні дерев атмосферних осаджень різного походження. Отримані результати свідчать про доцільність використання поверхні кори дерев як індикатора осідання твердих частинок та аерозолів антропогенного походження.

У Додатку В наведені результати розрахунків показників за формулами 2.9-2.15.

На рисунку 4.6 наведено порівняльну діаграму, що відображає нормалізовані значення показників рН, ЕС та TDS, розраховані на одиницю маси завислих речовин, а також масу завислих речовин у кожному з досліджуваних зразків у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок.

Також представлені результати у відповідності шкал екологічних інтерпретацій кислотно-лужного впливу антропогенних атмосферних осаджень (табл. 2.1, 2.2) у досліджуваних зразках у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок (рис.4.7).

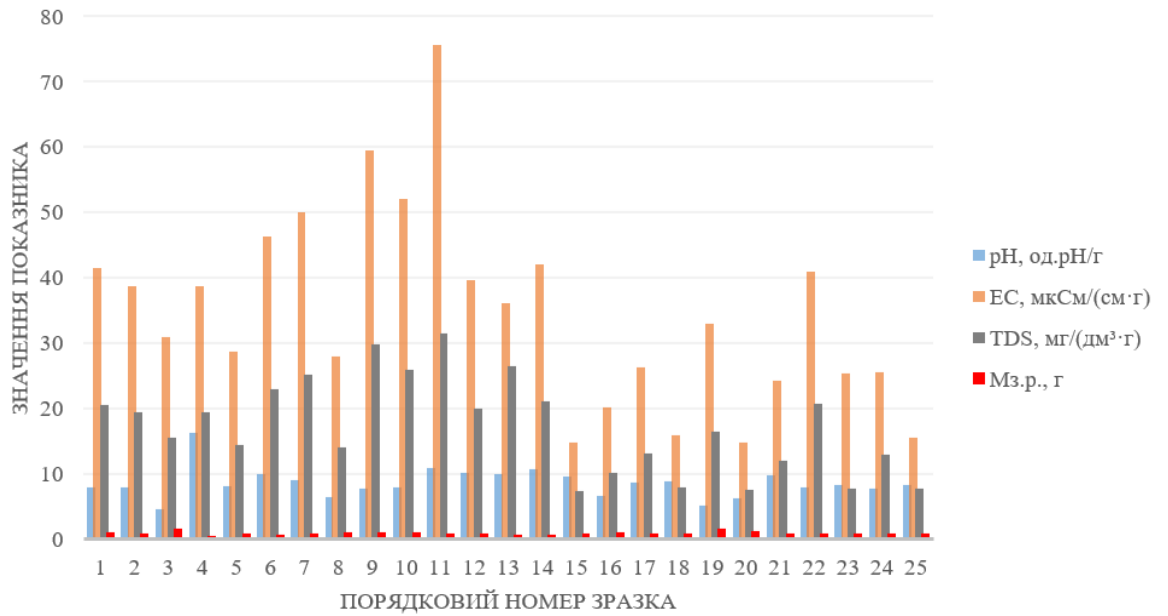


Рисунок 4.6 – Порівняльна діаграма скорегованих показників рН, ЕС, ТДС та маси завислих речовин у зразках



Рисунок 4.7 – Кисотно-лужний стан дерев за результатами точкового відбору зразків

У таблиці 4.1 представлені результати розрахунків відповідно до шкал екологічної інтерпретації.

Таблиця 4.1 – Результати відповідно до шкал екологічної інтерпретації

№ з/п	Вид дерева	Різниця між відхиленням кожного індивідуального зразка та фонового відхилення з урахуванням виду дерева (δ_i)			Результати відповідно до шкал екологічної інтерпретації
		pH, %	ЕС, %	TDS, %	
1	Кінський каштан	2,55	13,76	13,25	Фоновий стан
2	Клен псевдоплатановий	-14,79	-3,13	-2,96	Слабке підкислення
3	Кінський каштан	-30,84	5,92	5,91	Помірне підкислення
4	Катальпа	85,59	-17,76	-17,59	Критичне залужнення
5	Ясень звичайний	-0,75	-4,92	-5,08	Фоновий стан
6	Клен гостролистий	5,88	13,48	-13,26	Фоновий стан
7	Клен гостролистий	-4,24	16,18	-10,14	Фоновий стан
8	Клен гостролистий	-31,58	-79,12	-26,60	Помірне підкислення
9	Плакуча верба	-1,90	15,40	15,46	Фоновий стан
10	Липа серцелиста	1,27	9,78	9,51	Фоновий стан
11	Клен ясенелистий	24,92	0,47	-6,89	Слабке залужнення
12	Клен ясенелистий	16,68	-26,15	-23,93	Слабке залужнення
13	Береза звичайна	36,83	6,80	19,26	Помірне залужнення
14	Береза звичайна	43,89	11,18	11,16	Помірне залужнення
15	Дуб канадський	16,05	-9,53	-9,72	Слабке залужнення
16	Ясень звичайний	-16,96	-11,32	-11,47	Слабке підкислення
17	Береза звичайна	23,10	-0,52	-0,52	Слабке залужнення
18	Береза звичайна	25,55	-8,26	-8,20	Помірне залужнення
19	Горіх волоський	-38,09	-15,80	-16,74	Помірне підкислення
20	Кінський каштан	-13,40	-6,01	-5,98	Слабке підкислення
21	Плакуча верба	17,63	-10,80	-10,87	Слабке залужнення
22	Кінський каштан	2,92	13,39	13,63	Фоновий стан
23	Кінський каштан	6,83	1,78	-5,46	Фоновий стан
24	Кінський каштан	2,14	1,87	2,21	Фоновий стан
25	Кінський каштан	6,30	-5,56	-5,62	Фоновий стан

Отримані результати свідчать про просторову неоднорідність змін кислотно-лужних та іонних характеристик поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев у межах території ІФНТУНГ та прилеглих ділянок.

У зонах, наближених до активних розривних і відновлювальних робіт (точки 13 та 19), зафіксовано суттєві коливання досліджуваних показників, що свідчить про підвищене антропогенне навантаження на поверхневі

нашарування. Вплив проявляється по-різному залежно від виду дерев: для берези звичайної (*Betula pendula*) характерне помірне підлужнення рН (+36,83 %), тоді як для горіха волоського (*Juglans regia* L.) спостерігається помірне підкислення рН (-38,09 % від фонових значень). Імовірною причиною є надходження мінерального та будівельного пилу, частинок цементу й дорожніх матеріалів, що містять водорозчинні солі та лужні компоненти, сприяючи зростанню електропровідності, мінералізації та нестабільності рН.

У точках 8 та 14-17, розташованих поблизу 7-го корпусу ІФНТУНГ, який зазнав ушкоджень і перебуває у стадії відновлення, спостерігається значно підвищена варіабельність усіх показників рН, ЕС і TDS для точки 8, й зміну рН у 14-17 точках. Подібний вплив частково простежується і в 13 та 19 зразках. Інтенсивне пилове навантаження змінює іонний склад атмосферних нашарувань, що підтверджується зростанням ЕС і TDS та локальними зсувами рН: у ясеня звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) і клена гостролистого (*Acer platanoides*) – у бік підкислення, у дуба канадського (*Quercus rubra*) та берези звичайної (*Betula pendula*) – у бік підлужнення.

Особливо показовою є точка 18, де майже відсутні зелені насадження, а домінуючим чинником впливу виступає автотранспорт. Підвищення рН у цьому випадку пов'язане з осіданням продуктів згоряння пального, дорожнього пилу та частинок зношування шин і гальмівних систем, а відсутність деревної рослинності як природного фільтра підсилює негативний ефект транспортного навантаження.

Аналіз у розрізі видового складу свідчить про вищу чутливість інтродукованих видів. Катальпа (*Catalpa*) (точка 4), дуб канадський (*Quercus rubra*) (точка 15) та клен ясенелистий (*Acer negundo*) (точки 11 і 12) демонструють значну мінливість показників рН, ЕС і TDS навіть за відносно слабкого навантаження, що зумовлено їх меншою адаптованістю до умов урбанізованого середовища. Показовим є приклад катальпи, де навіть незначна маса завислих речовин (0,4323 г) спричинила різке відхилення показників, зокрема рН (85,59 %), що може свідчити про несприятливе місцерозташування

або додатковий локальний чинник поблизу 4-го корпусу, адже також у точці 3 та у напрямку стадіону (точка 20) простежуються підвищені відхилення значень.

Натомість клен гостролистий (*Acer platanoides*) і кінський каштан (*Aesculus hippocastanum*) виявили високу стійкість до зовнішніх впливів: навіть поблизу доріг з інтенсивним рухом їхні показники рН, ЕС і TDS залишалися відносно стабільними, що свідчить про ефективні захисні властивості кори та добру адаптацію до міських умов.

На рисунку 4.5 видно, що у ряді зразків (3, 8, 16, 19, 20) зафіксовано підвищену масу завислих речовин порівняно з іншими пробами, що могло зумовлювати зростання концентрації водорозчинних компонентів і, відповідно, більш виражені зміни рН, ЕС і TDS, які в окремих випадках не повністю відображають реальний рівень атмосферного забруднення.

Загалом результати підтверджують, що зміни кислотності, електропровідності та мінералізації поверхневих атмосферних нашарувань мають комплексний характер і визначаються поєднанням техногенних чинників, локального антропогенного навантаження, рівня озеленення та видових особливостей дерев.

Висновок до розділу 4

У розділі 4 комплексно представлені результати функціонально-просторового аналізу території закладу освіти та результати експериментальних лабораторних досліджень, спрямованих на оцінку просторової організації та екологічного стану території ІФНТУНГ.

У ході функціонально-просторового аналізу виконано оцифрування картографічних матеріалів, визначено структуру землекористування та розраховано показники рівня озеленення, площі та частки зелених зон, забудови, інших незабудованих територій (які не є ландшафтно-рекреаційними) у загальній площі університету, а також рівня озеленення відкритих просторів з урахуванням і без урахування спортивних майданчиків.

Встановлено, що загальний рівень озеленення перебуває на межі відповідності чинним нормативам і суттєво залежить від включення зелених зон стадіону до розрахунків, водночас виявлено наявність територіального резерву для подальшого озеленення.

Додатково здійснено експериментальні дослідження поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев (твердих частинок, пилу недиференційованого за складом, лужних та кислотних аерозолів), що включали відбір зразків, лабораторні вимірювання та мікроскопічний аналіз для визначення рН, електропровідності, мінералізації скорегованих на масу завислих речовин. Отримані результати засвідчили просторову та видову неоднорідність кислотно-лужних і іонних характеристик осаджень, а також виявили вплив будівельних робіт, транспортного навантаження та рівня озеленення на формування локальних екологічних умов території.

РОЗДІЛ 5

РЕКОМЕНДАЦІЇ

5.1 Рекомендації щодо оптимізації озеленення території університету на основі результатів досліджень

На основі проведеного функціонально-просторового аналізу встановлено, що рівень озеленення території ІФНТУНГ перебуває на межі відповідності нормативним вимогам і суттєво залежить від урахування зелених зон спортивних майданчиків. У зв'язку з цим доцільним є поетапне збільшення площі зелених насаджень до рівня не менше 50 % від загальної площі території відповідно до вимог ДБН Б.2.2-12:2019 [29]. Значний резерв незабудованих територій (які не є ландшафтно-рекреаційними) може бути використаний для створення нових озелених зон, що сприятиме підвищенню екологічної стабільності території закладу.

Найбільш доцільним і ефективним рішенням є використання вертикального озеленення, яке застосовують за умов дефіциту вільної території для традиційної висадки зелених насаджень. Такий підхід дає змогу збільшити частку озелених поверхонь без залучення додаткових земельних площ, водночас покращуючи мікроклімат, знижуючи пилове навантаження та підвищуючи естетичну привабливість простору.

Вертикальне озеленення може бути реалізоване шляхом встановлення арок із в'юнкими видами рослин (рис. 5.1), зокрема плющем звичайним (*Hedera helix*), дівочим виноградом п'ятилисточковим (*Parthenocissus quinquefolia*), та плетистими трояндами. Додатково доцільним є використання надземних контейнерів (коробок) для рослин (рис. 5.2), розміщених на фасадах будівель, підпірних конструкціях, огорожах і над переходами, що дозволить «гнучко» формувати зелені елементи та адаптувати їх до функціонального використання території.



Рисунок 5.1 – Приклади встановлення арок із в'юнкими видами рослин



Рисунок 5.2 – Приклади надземних контейнерів (коробок) для рослин на території Міської дитячої екологічної станції

Івано-Франківської міської ради

Оптимізація видового складу зелених насаджень є важливим чинником зменшення негативного впливу урбанізованого середовища. Результати експериментальних досліджень свідчать про доцільність переважного використання стійких до антропогенного навантаження аборигенних видів дерев, зокрема клена гостролистого (*Acer platanoides*) та каштана кінського (*Acer platanoides*), які продемонстрували стабільність фізико-хімічних показників атмосферних нашарувань. Водночас інтродуковані види, що виявили підвищену чутливість до змін умов середовища, потребують обмеженого використання або посиленого догляду, особливо в зонах підвищеного техногенного впливу.

Виявлена просторова неоднорідність показників рН, електропровідності та мінералізації атмосферних нашарувань зумовлює необхідність зменшення впливу локальних антропогенних чинників. У районах будівельних і відновлювальних

робіт доцільно застосовувати тимчасові пилозахисні заходи, зокрема створення зелених бар'єрів і регулярне зволоження поверхонь. Уздовж транспортних шляхів і на ділянках з інтенсивним рухом автотранспорту рекомендовано формування захисних зелених смуг або ж живоплоти із високою здатністю до уловлювання пилу та газоподібних забруднювачів.

Запропоновані нові зелені зони відображені на рисунку 5.3, де показано просторове розташування живоплотів та деревних рослин (клен гостролистий (*Acer platanoides*) та каштан кінський (*Acer platanoides*) межах території ІФНТУНГ.



Рисунок 5.3 – Карта-схема території ІФНТУНГ із запропонованими новими зеленими зонами

Функціональне покращення відкритих просторів університету має здійснюватися з урахуванням поєднання екологічних, рекреаційних та освітніх функцій. Рівномірний розподіл зелених насаджень, розвиток багаторусної рослинності та інтеграція зелених зон у навчальне середовище сприятимуть зменшенню негативного впливу техногенних чинників, підвищенню комфортності перебування та формуванню сталого екологічного розвитку території ІФНТУНГ.

Висновок до розділу 5

У розділі 5 на основі результатів функціонально-просторового аналізу та експериментальних лабораторних досліджень розроблено систему екологічних рекомендацій щодо оптимізації озеленення території ІФНТУНГ.

Обґрунтовано необхідність поетапного підвищення рівня озеленення до нормативного значення не менше 50 % шляхом раціонального використання незабудованих територій і впровадження вертикального озеленення як ефективного рішення в умовах обмеженого простору.

Запропоновано практичні заходи з формування зелених бар'єрів у зонах підвищеного антропогенного навантаження, а також оптимізації видового складу насаджень із переважним використанням стійких аборигенних видів дерев. Рекомендації враховують просторову специфіку території, результати екологічної інтерпретації показників рН, ЕС і TDS та спрямовані на зниження пилового навантаження, покращення мікроклімату й забезпечення екологічної стабільності та сталого розвитку території університету.

ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд і систематизацію наукових публікацій та нормативно-правових документів, що регламентують питання озеленення закладів освіти й формування міських зелених просторів. Проаналізовано сучасні підходи до визначення функцій зелених насаджень, їх екологічної, рекреаційної та соціальної ролі, а також узагальнено міжнародний і вітчизняний досвід оцінки рівня озеленення. Обґрунтовано актуальність застосування комплексних методів дослідження зелених зон у межах урбанізованих територій.

2. Розглянуто методичні основи оцінки озеленення та стану довкілля території закладу освіти. Описано використані методи функціонально-просторового аналізу, картографування, біоіндикації та лабораторних досліджень. Запропоновано спеціальний методичний підхід до визначення антропогенних атмосферних осаджень на корі дерев, що дозволяє оцінювати рівень техногенного навантаження та його вплив на зелені насадження в умовах міського середовища.

3. Комплексно охарактеризовано територію Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу як об'єкта дослідження. Проаналізовано фізико-географічне розташування, кліматичні умови, водні ресурси, стан атмосферного повітря та наявність природоохоронних об'єктів у межах і поблизу досліджуваної території. Визначено основні чинники антропогенного впливу, що формують екологічні умови та впливають на стан зелених насаджень університету.

4. Проведено оцінку просторової структури та рівня озеленення території ІФНТУНГ. Виконано функціонально-просторовий аналіз відкритих просторів, визначено площі зелених насаджень, забудови та інших елементів території, а також проаналізовано їх відповідність нормативним вимогам. На основі експериментальних досліджень поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев виявлено просторову та видову неоднорідність показників рН, електропровідності та мінералізації, скорегованих на вміст завислих речовин, що відображає вплив локальних джерел антропогенного навантаження.

5. На основі отриманих результатів розроблено систему екологічних рекомендацій щодо оптимізації озеленення території ІФНТУНГ. Запропоновано поетапне підвищення рівня озеленення до нормативних значень, формування зелених бар'єрів у зонах підвищеного техногенного впливу, оптимізацію видового складу насаджень та впровадження вертикального озеленення. Реалізація запропонованих заходів сприятиме покращенню мікроклімату, зниженню антропогенного навантаження та забезпеченню сталого розвитку території закладу вищої освіти.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко Т. О., Дементьєва О. І. Екологічні основи створення зелених насаджень на територіях загальноосвітніх закладів міста Херсона // Таврійський науковий вісник. 2018. № 100. С. 220–229.
2. Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України : наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України № 105 від 10.04.2006 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06#Text> (дата звернення: 08.12.2025).
3. Urban green spaces: a brief for action / World Health Organization. Copenhagen, 2017. 24 p. [Electronic resource]. Available at: <https://surl.lt/tuxbnc>.
4. Верещагіна П. М., Коваленко О. А., Чепак О. І. Технологія озеленення населених місць. Київ, 2015. С. 104.
5. Ванзар О. М., Романюк В. В. Оцінка стійкості екзотів дендрофлори зелених насаджень історичної частини м. Чернівці // Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 4–5 квіт. 2019 р.). Львів : НЛТУ України, 2019. С. 86–87.
6. The Nature for All report on urban nature [Electronic resource]. Available at: <https://surl.lu/roayrs>.
7. Zhang J., Jin J., Liang Y., Liang, Y. The impact of green space on university students' mental health: the mediating roles of solitude competence and perceptual restoration // Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 2. 707.
8. Wilkie S., Clouston L. Environment preference and environment type congruence: effects on perceived restoration potential and restoration outcomes // Urban Forestry & Urban Greening. 2015. Vol. 14, No. 2. P. 368–376.
9. Shafait Z., Huang J. Exploring the nexus of emotional intelligence and university performance // Psychology Research and Behavior Management. 2023. P. 4295–4313.

10. Shafait Z., Huang J. From knowledge-oriented leadership to emotional intelligence to creative performance // *Current Psychology*. 2024. Vol. 43, No. 14. P. 12388–12401.
11. Shafait Z., Huang J. Nexus of emotional intelligence and learning outcomes // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, No. 23. 16215.
12. Cai B., Shafait Z., Chen L. Teachers' adoption of emotions-based learning outcomes // *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. 812447.
13. Boiko T., Torbina L., Zavgorodnya G. Озеленення закладів загальної середньої освіти та його вплив на формування художнього смаку у школярів // *Path of Science*. 2021. Vol. 7, No. 7. P. 4001–4007.
14. Von Schneidemesser E., Steinmar K., Weatherhead E. C., Bonn B., Gerwig H., Quedenau J. Air pollution at human scales in an urban environment // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 688. P. 691–700.
15. Chen J., Hoek G., De Hoogh K., Rodopoulou S., Andersen Z. J., Bellander T., ..., Thurston G. D. Long-term exposure to source-specific fine particles and mortality // *Environmental Science & Technology*. 2022. Vol. 56, No. 13. P. 9277–9290.
16. Приседський Ю. Г., Лихолат Ю. В. Адаптація рослин до антропогенних чинників. Дніпро, 2017. С. 95.
17. Su Z. et al. Acid deposition and meteorological factors together drive changes in vegetation cover // *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 167. 112720.
18. Air–Surface Exchange Process Overview / U.S. Environmental Protection Agency [Electronic resource]. Available at: <https://surl.li/bwnplj> (accessed: 08.12.2025).
19. Zhao L., Dai A., Dong B. Changes in global vegetation activity and its driving factors // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 249. P. 198–209.
20. Fang L., Chen Z., Li X. Urban green spaces and human well-being: mechanisms and evidence // *Frontiers in Sustainable Cities*. 2024. [Electronic resource]. Available at: <https://surl.li/nnlzta>.

21. Diener A., Mudu P. How can vegetation protect us from air pollution? // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 796. 148605.
22. Abhijith K. V., Kumar P. Quantifying particulate matter reduction on leaves // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 265. 114884.
23. Corada K., Woodward H., Alaraj H., Collins C. M., de Nazelle A. Leaf traits contributing to airborne particulate matter removal // *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 269. 116104.
24. Wang M., Qin M., Xu P., Huang D., Jin X., Chen J., ..., Ren Y. Atmospheric particulate matter retention capacity of bark and leaves // *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 342. 123109.
25. Saurer M., Cherubini P. Tree physiological responses after disturbances // *Tree Physiology*. 2022. Vol. 42, No. 1. P. 1–4.
26. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. – Чинний від 25.04.2018 р. – Офіц. вид. – Київ, 2018 (редакція станом на 30.04.2025 р.). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/egzqrm>
27. ДСТУ-Н Б В.2.2-7:2013. Настанова з улаштування контейнерних майданчиків. – Чинний від 01.04.2014 р. – Київ, 2014. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/cdqaeq>.
28. Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць : наказ Міністерства охорони здоров'я України № 145 від 17.03.2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/nxgunm> (редакція станом на 08.04.2025 р.).
29. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. – Чинний від 01.10.2019 р. – Київ, 2019 (редакція станом на 18.11.2025 р.). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/tnyaiy>.
30. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – Чинний від 01.12.2019 р. – Київ, 2019 (редакція станом на 10.10.2025 р.). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/kjcerc>.
31. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : наказ МОЗ України № 173 від 19.06.1996 р.

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.lu/wphrsa> (редакція станом на 07.03.2019 р.).

32. Assessing the value of urban green and blue spaces for health and well-being / World Health Organization. Copenhagen, 2023.

33. Urban green spaces and health: a review of evidence / World Health Organization. Copenhagen, 2016.

34. Braubach M., Kendrovski V., Jarosinska D., Mudu P., Andreucci M. B., Beute F., ..., Russo A. Green and blue spaces and mental health. 2021.

35. Kumar P., Debele S. E., Khalili S., Halios C. H., Sahani J., Aghamohammadi N., ..., Jones L. Urban heat mitigation by green and blue infrastructure // *The Innovation*. 2024. Vol. 5, No. 2.

36. Molnár V. É., Tózsér D., Szabó S., Tóthmérész B., Simon E. Use of leaves as bioindicator // *Plants*. 2020. Vol. 9, No. 12. 1743.

37. Zhang J., Guan Y., Lin Q., Wang Y., Wu B., Liu X., ..., Xia D. Heavy metal pollution of roadside plant leaves // *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 10. 5809.

38. Nkansah F. K. Air pollution and plant responses // *BMC Environmental Science*. 2025. Vol. 2, No. 1. 16.

39. Рябика М., Гусакова О., Зозуля А., Бушовська А. та ін. Каталог природоорієнтованих рішень. – Львів: УКМ, 2021. – С. 116. – Режим доступу: <https://surl.li/ieztas>.

40. Зозуля А., Рябика М. Каталог зелених рішень. – Львів: ПЛАТО, 2021. – С. 62. – Режим доступу: <https://surl.li/ortzyb>.

41. Бойко Т. О., Дементьєва О. І. Особливості створення проекту реконструкції та озеленення території ЗНЗ. 2019.

42. Таран Н. та ін. Особливості організації зеленої зони кампусу КНУ // *Вісник КНУ. Біологія*. 2024. Вип. 1 (96). С. 44–49.

43. Пушка, І. М., Шлапак, В. П., Поліщук, В. В., Величко, Ю. А., Осіпов, М. Ю. Формування зелених насаджень кампусу ЗВО // *Scientific Bulletin of UNFU*. 2022. Т. 32, № 4. С. 32–37.

44. Зібцева О. В. Озеленення забудованих територій малих міст // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. № 10. С. 28–31.

45. Світлова Н. Б. та ін. Терморегулююча здатність деревних рослин // Матеріали Міжнар. конф. Львів, 2019. С. 298.
46. Zhou S., Wang S., Liu H. Green space exposure's influence on mental well-being // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2024. Vol. 32, No. 2. P. 128–142.
47. Moskalchuk N., Orfanova M. Greening of territories in Ivano-Frankivsk // *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 75–86.
48. Browning M. H., Rigolon A. School green space and academic performance // *IJERPH*. 2019. Vol. 16, No. 3. 429.
49. Leung W. T. V., Tam T. Y. T., Pan W. C., Wu C. D., Lung S. C. C., Spengler J. D. Environmental greenness and academic performance // *Landscape and Urban Planning*. 2019. Vol. 181. P. 118–124.
50. Kuo M., Klein S. E., Browning M. H., Zaplatosch J. Greening for academic achievement // *Landscape and Urban Planning*. 2021. Vol. 206. 103962.
51. Sima M. et al. Campus greening practices // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 373. 133822.
52. Ow L. F., Mohd Yusof M. L. Stability of urban trees // *Journal of Urban Ecology*. 2018. Vol. 4, No. 1. juy014.
53. Öztürk Ş., Oran S. Bark pH and epiphytic lichen diversity // *Journal of Applied Biological Sciences*. 2011. Vol. 5, No. 1. P. 27–33.
54. Van Herk C. M. Bark pH and air pollutants // *The Lichenologist*. 2001. Vol. 33, No. 5. P. 419–441.
55. Kovářová M., Pyszko P., Plášek V. Bark pH changes and epiphytic bryophytes // *Plants*. 2021. Vol. 11, No. 1. 63.
56. Boonpeng C., Fuangkeaw P., Boonpragob K. Bark, soil and lichens as dust indicators // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023. Vol. 195, No. 6. 681.
57. Кадастрова карта України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.lt/nlbvov> (дата звернення: 07.12.2025).
58. Nimis P. L., Scheidegger C., Wolseley P. A. Measuring bark pH // *Monitoring with Lichens*. Dordrecht, 2002. P. 333–336

59. ДСТУ 4077:2001. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD). – Чинний від 01.01.2003. – Київ, 2001.
60. ДСТУ EN 27888:2022. Якість води. Визначення електропровідності (EN 27888:1993, IDT; ISO 7888:1985, IDT). – Чинний від 01.06.2022. – Київ, 2022.
61. КНД 211.1.4.039-95. Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин у природних і стічних водах. – Київ, 1995.
62. Google Maps [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/vbdfyr> (дата звернення: 07.12.2025).
63. Про вищу освіту : Закон України // Відомості Верховної Ради України. 2014. № 37–38. Ст. 2004.
64. ІФНТУНГ. Поселення у гуртожиток [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nung.edu.ua/department/studentske-mistechko/poselennya>.
65. ІФНТУНГ. Історія університету [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nung.edu.ua/content/istoriya-ifntung>.
66. ІФНТУНГ. Загальний опис університету [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/ikgjid>.
67. Програма охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської МТГ на 2026–2030 роки. Івано-Франківськ, 2025.
68. ТЗНС ІФНТУНГ. Станція моніторингу якості повітря [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reborn.eco-city.org.ua/station/1572> (дата звернення: 05.12.2025).
69. Eco-City [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eco-city.org.ua/>.
70. Гідрометцентр України. Щомісячні дані [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/dghnyk>.
71. Природно-заповідний фонд України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-9.html>.
72. European Environment Agency. Emerald Network [Electronic resource]. Available at: <https://emerald.eea.europa.eu/>.
73. UNCG Biodiversity Viewer [Electronic resource]. Available at: <https://uncg.org.ua/biodiversity-viewer/>.

74. Клен ясенелистий [Електронний ресурс] // Wikipedia. Режим доступу: <https://surl.li/ydhaiy>.

75. Інтродуковані рослини в Україні [Електронний ресурс] // Wikipedia. Режим доступу: <https://surl.li/dzrtuk>.

ДОДАТКИ

**ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТОЧОК ВІДБОРУ ЗРАЗКІВ
ПОВЕРХНЕВИХ АТМОСФЕРНИХ НАШАРУВАНЬ НА КОРІ ДЕРЕВ**

Таблиця А.1 – Основні параметри точок відбору зразків поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок

<i>Дата відбору зразків: 07.12.2025 р.</i>				
<i>Місце відбору зразків: територія ІФНТУНГ і прилеглі ділянки за межами університету</i>				
№ з/п	Час відбору	Координати точки відбору проби		Вид дерева
		Широта	Довгота	
1	08:20	48,928506	24,696278	Кінський каштан
2	08:33	48,928907	24,693923	Клен псевдоплатановий
3	08:41	48,929687	24,692804	Кінський каштан
4	08:48	48,930176	24,693164	Катальпа
5	08:55	48,930244	24,692323	Ясень звичайний
6	09:03	48,930347	24,690887	Клен гостролистий
7	09:17	48,933136	24,695111	Клен гостролистий
8	09:27	48,932265	24,697787	Клен гостролистий
9	09:39	48,929451	24,698122	Плакуча верба
10	09:59	48,929987	24,695333	Липа серцелиста
11	10:03	48,930118	24,696719	Клен ясенелистий
12	10:09	48,929383	24,697116	Клен ясенелистий
13	10:15	48,930613	24,695988	Береза звичайна
14	10:20	48,931264	24,697316	Береза звичайна
15	10:26	48,931224	24,698363	Дуб канадський
16	10:31	48,931720	24,698740	Ясень звичайний
17	10:38	48,931890	24,698030	Береза звичайна
18	10:43	48,932781	24,694435	Береза звичайна
19	10:51	48,930935	24,695493	Горіх волоський
20	11:00	48,930261	24,694169	Кінський каштан
21	11:07	48,929171	24,696402	Плакуча верба
22	11:12	48,928945	24,695538	Кінський каштан
23	11:15	48,929242	24,695010	Кінський каштан
24	11:19	48,9289996	24,694629	Кінський каштан
25	11:24	48,929598	24,694557	Кінський каштан

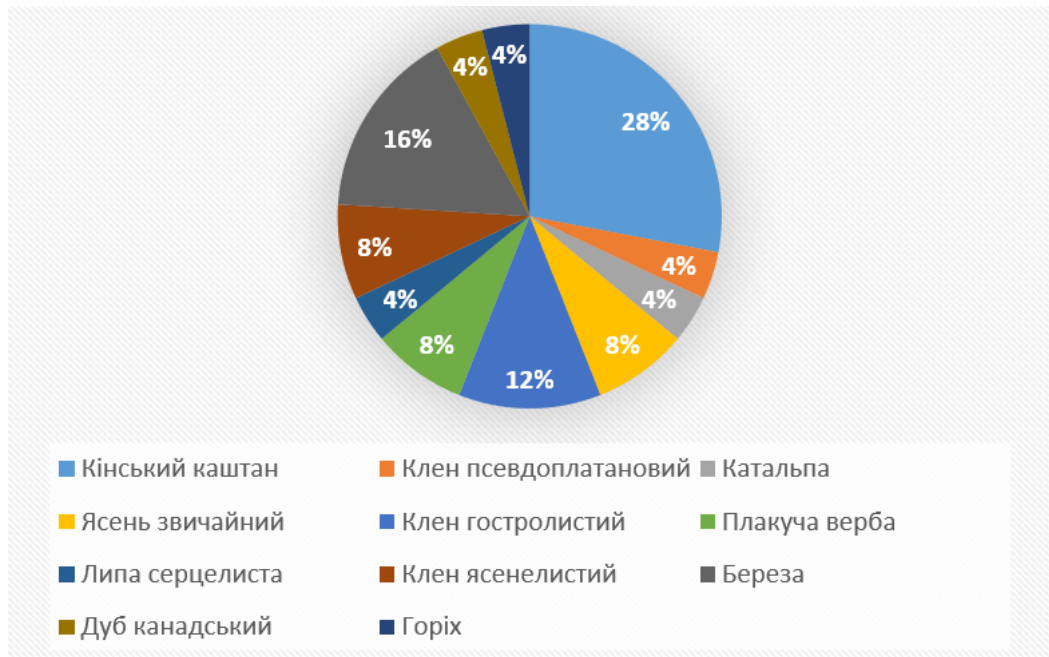


Рисунок А.1 – Частка певного виду дерев у загальній кількості досліджених (у межах території ІФНТУНГ та прилеглих до неї ділянок)

Таблиця А.2 – Основні параметри точок відбору зразків поверхневих атмосферних нашарувань на корі дерев у межах парку ім. Тараса Шевченка

<i>Дата відбору зразків:</i> 08.12.2025 р.				
<i>Місце відбору зразків:</i> парк ім. Тараса Шевченка				
№ з/п	Час відбору	Координати точки відбору проби		Вид дерева
		Широта	Довгота	
1	08:13	48,910929	24,696507	Горіх волоський
2	08:18	48,910619	24,697190	Липа серцелиста
3	08:26	48,911736	24,697635	Клен псевдоплатановий
4	08:30	48,912111	24,697019	Ясень звичайний
5	08:42	48,909804	24,696909	Липа серцелиста
6	08:48	48,909621	24,696374	Клен ясенелистий
7	08:50	48,909226	24,697103	Дуб канадський
8	09:00	48,910047	24,692825	Береза звичайна
9	09:05	48,908531	24,692255	Дуб канадський
10	09:13	48,908120	24,692091	Кінський каштан
11	09:20	48,908641	24,690767	Клен гостролистий
12	09:28	48,909145	24,691325	Дуб канадський
13	09:32	48,909450	24,690891	Дуб канадський
14	09:37	48,910438	24,692228	Плакуча верба
15	09:44	48,911332	24,693877	Катальпа

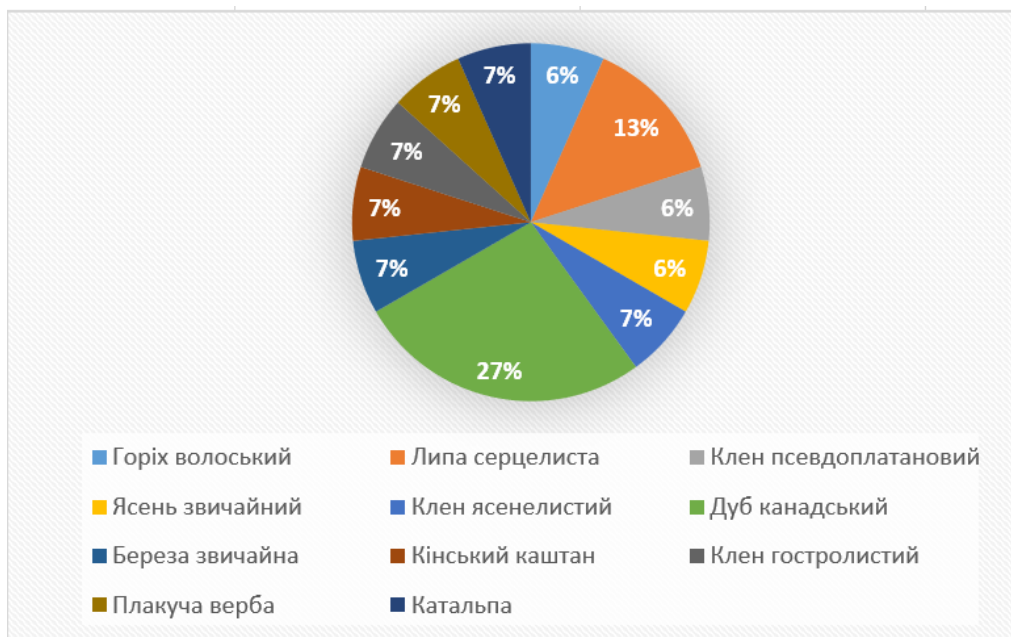


Рисунок А.2 – Частка певного виду дерев у загальній кількості досліджених (у межах парку ім. Тараса Шевченка)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ ВИПРОБУВАННЯ

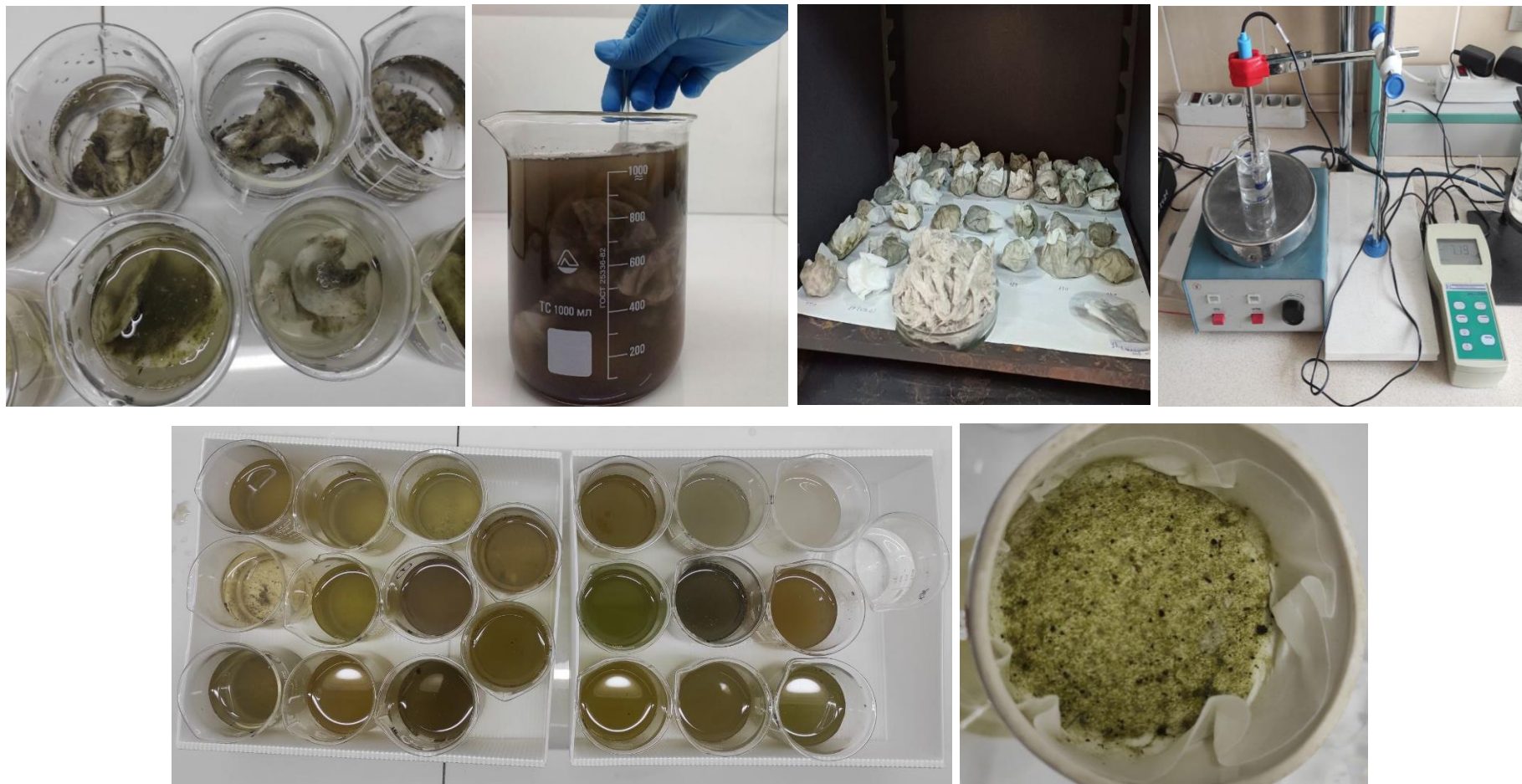


Рисунок Б.1 – Фрагменти експериментальних лабораторних випробувань

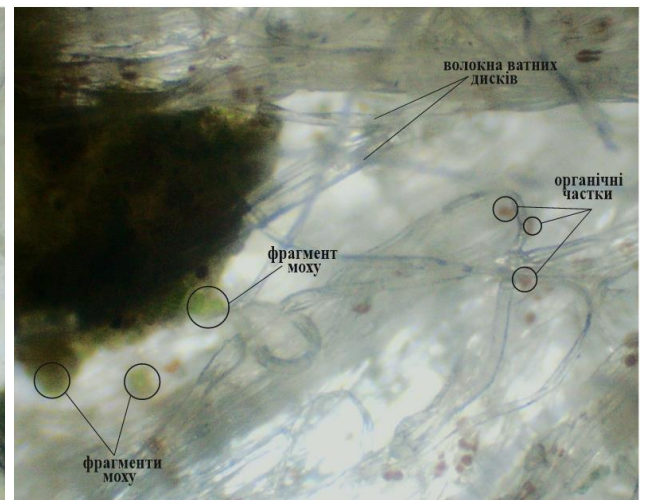
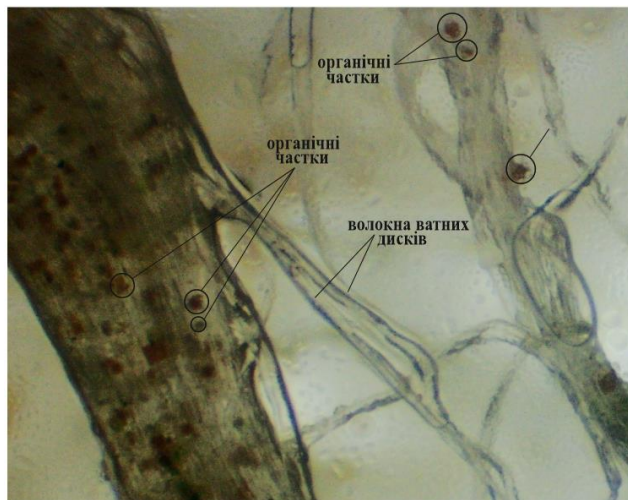
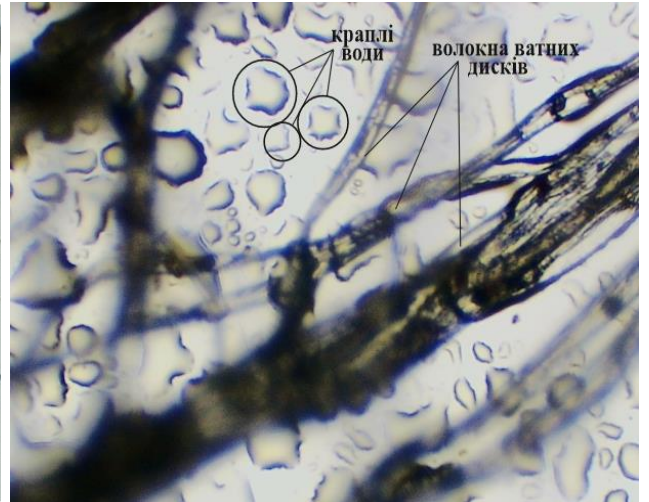
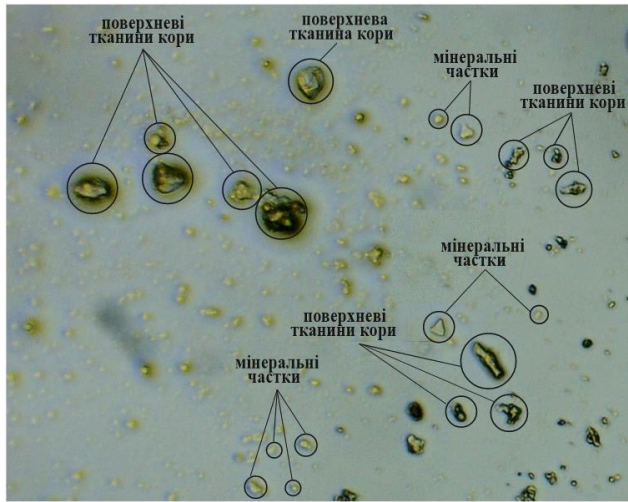


Рисунок Б.2 – Мікроскопічне зображення частинок атмосферних осаджень, відібраних з поверхні стовбура та гілля дерев (12-й зразок, ІФНТУНГ)

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

№ з/п	Вид дерева	Виміряні значення параметрів ($X_{вим}$)			Нормалізовані значення параметрів на одиницю маси реакційно-здатного матеріалу (X)			$M_{вим}$, г	$M_{з.р.}$, г
		pH, од. pH	ЕС, мкСм/см	TDS, мг/дм ³	pH, од. pH/г	ЕС, мкСм/(см·г)	TDS, мг/(дм ³ ·г)		
Територія ІФНТУНГ і прилеглі ділянки за межами університету									
1	Кінський каштан	7,06	37,60	18,50	7,79	41,49	20,41	1,8671	0,9064
2	Клен псевдоплатановий	7,04	34,60	17,40	7,86	38,64	19,43	1,8563	0,8956
3	Кінський каштан	6,90	47,20	23,60	4,52	30,91	15,45	2,4879	1,5272
4	Катальпа	7,04	16,74	8,41	16,29	38,73	19,46	1,3930	0,4323
5	Ясень звичайний	6,79	24,00	12,00	8,12	28,69	14,34	1,7973	0,8366
6	Клен гостролистий	6,78	31,50	15,60	9,98	46,35	22,95	1,6404	0,6797
7	Клен гостролистий	6,74	37,50	18,80	8,98	49,99	25,06	1,7109	0,7502
8	Клен гостролистий	6,74	29,80	14,90	6,31	27,88	13,94	2,0296	1,0689
9	Плакуча верба	7,14	54,70	27,40	7,76	59,48	29,79	1,8804	0,9197
10	Липа серцелиста	7,51	49,50	24,50	7,90	52,09	25,78	1,911	0,9503
11	Клен ясенелистий	8,56	59,20	24,60	10,92	75,53	31,39	1,7445	0,7838
12	Клен ясенелистий	8,45	33,10	16,60	10,11	39,62	19,87	1,7962	0,8355
13	Береза звичайна	7,09	25,90	19,00	9,88	36,09	26,48	1,6784	0,7177
14	Береза звичайна	7,30	29,00	14,50	10,57	42,00	21,00	1,6513	0,6906
15	Дуб канадський	7,22	10,98	5,47	9,63	14,64	7,30	1,7105	0,7498
16	Ясень звичайний	7,03	21,60	10,80	6,53	20,06	10,03	2,0377	1,0770
17	Береза звичайна	6,90	21,20	10,60	8,53	26,22	13,11	1,7693	0,8086
18	Береза звичайна	6,98	12,55	6,30	8,77	15,78	7,92	1,7563	0,7956
19	Горіх волоський	8,00	51,90	25,80	5,07	32,90	16,35	2,5384	1,5777
20	Кінський каштан	7,78	18,50	9,27	6,23	14,81	7,42	2,2101	1,2494
21	Плакуча верба	7,11	17,73	8,82	9,68	24,13	12,01	1,6954	0,7347
22	Кінський каштан	6,74	35,30	17,80	7,83	40,99	20,67	1,8220	0,8613
23	Кінський каштан	6,55	20,20	6,20	8,21	25,32	7,77	1,7586	0,7979
24	Кінський каштан	6,64	21,80	11,10	7,75	25,44	12,95	1,8176	0,8569
25	Кінський каштан	6,73	12,72	6,32	8,16	15,42	7,66	1,7858	0,8251
Парк ім. Тараса Шевченка									
1	Горіх волоський	6,30	38,80	19,80	8,80	54,22	27,67	1,6764	0,7157
2	Липа серцелиста	6,71	33,40	16,20	8,92	44,39	21,53	1,7131	0,7524
3	Клен псевдоплатановий	6,82	31,40	15,70	9,31	42,86	21,43	1,6934	0,7327
4	Ясень звичайний	6,91	29,80	15,00	8,19	35,33	17,78	1,8042	0,8435
5	Липа серцелиста	6,30	31,70	16,30	6,64	33,41	17,18	1,9096	0,9489
6	Клен ясенелистий	6,33	55,90	26,90	8,48	74,90	36,04	1,7071	0,7464
7	Дуб канадський	6,57	19,83	9,82	7,67	23,16	11,47	1,8171	0,8564
8	Береза звичайна	6,06	26,00	13,00	6,27	26,92	13,46	1,9265	0,9658
9	Дуб канадський	6,48	20,40	10,20	8,20	25,83	12,91	1,7506	0,7899
10	Кінський каштан	6,58	20,00	10,00	7,54	22,92	11,46	1,8334	0,8727
11	Клен гостролистий	6,58	19,72	9,74	9,40	28,16	13,91	1,6610	0,7003
12	Дуб канадський	6,62	27,00	13,90	8,49	34,64	17,83	1,7403	0,7796
13	Дуб канадський	6,76	22,70	11,40	7,86	26,39	13,25	1,8209	0,8602
14	Плакуча верба	6,49	31,60	15,80	7,95	38,70	19,35	1,7772	0,8165
15	Катальпа	6,53	51,80	25,90	7,90	62,68	31,34	1,7872	0,8265
	Холоста проба	7,25	3,17	7,80	$X^{с-1}$				
	Складена проба	8,18	112,6	56,4	9,80	134,89	67,57		
		$M_{2вд.}$, г	M_{ϕ} , г	$M_{\phi+з.р.}$, г	$M_{20вд+з.р.}$, г	$M_{з.р.}^{с.з.}$, г			
		0,96	0,00075	0,8035	9,92	0,8348			

Рисунок В.1 – Результати розрахунків у Microsoft Excel (частина 1)

Відхилення нормалізованих результатів параметрів кожного індивідуального зразка від нормалізованих результатів тих самих параметрів для складеної проби ($\Delta X_i^{(b)}$)			Різниця між відхиленням кожного індивідуального зразка та фонового відхилення з урахуванням виду дерева (δ)			Результати відповідно до шкали екологічної інтерпретації
pH, %	ЕС, %	TDS, %	pH, %	ЕС, %	TDS, %	
-20,51	-69,25	-69,79	2,55	13,76	13,25	Фоновий стан
-19,78	-71,36	-71,24	-14,79	-3,13	-2,96	Слабке підкислення
-53,89	-77,09	-77,13	-30,84	5,92	5,91	Помірне підкислення
66,20	-71,29	-71,20	85,59	-17,76	-17,59	Критичне залуження
-17,17	-78,73	-78,77	-0,75	-4,92	-5,08	Фоновий стан
1,80	-65,64	-66,03	5,88	13,48	-13,26	Фоновий стан
-8,31	-62,94	-62,91	-4,24	16,18	-10,14	Фоновий стан
-35,65	-79,33	-79,37	-31,58	-79,12	-26,60	Помірне підкислення
-20,77	-55,91	-55,90	-1,90	15,40	15,46	Фоновий стан
-19,35	-61,38	-61,84	1,27	9,78	9,51	Фоновий стан
11,45	-44,00	-53,54	24,92	0,47	-6,89	Слабке залуження
3,21	-70,63	-70,59	16,68	-26,15	-23,93	Слабке залуження
0,82	-73,24	-60,82	36,83	6,80	19,26	Помірне залуження
7,88	-68,87	-68,92	43,89	11,18	11,16	Помірне залуження
-1,73	-89,14	-89,20	16,05	-9,53	-9,72	Слабке залуження
-33,39	-85,13	-85,16	-16,96	-11,32	-11,47	Слабке підкислення
-12,91	-80,56	-80,60	23,10	-0,52	-0,52	Слабке залуження
-10,47	-88,31	-88,28	25,55	-8,26	-8,20	Помірне залуження
-48,25	-75,61	-75,80	-38,09	-15,80	-16,74	Помірне підкислення
-36,45	-89,02	-89,02	-13,40	-6,01	-5,98	Слабке підкислення
-1,24	-82,11	-82,23	17,63	-10,80	-10,87	Слабке залуження
-20,14	-69,61	-69,41	2,92	13,39	13,63	Фоновий стан
-16,22	-81,23	-88,50	6,83	1,78	-5,46	Фоновий стан
-20,92	-81,14	-80,83	2,14	1,87	2,21	Фоновий стан
-16,76	-88,57	-88,66	6,30	-5,56	-5,62	Фоновий стан

Вид дерева	$\bar{X}_{\text{вид}}$			Кількість дерев 1-го виду (N)	ΔX_i		
	pH, %	ЕС, %	TDS, %		pH, %	ЕС, %	TDS, %
Горіх волоський	8,80	54,22	27,67	1	-10,17	-59,81	-59,05
Липа серцелиста	7,78	38,90	19,36	2	-20,62	-71,16	-71,35
Клен псевдоплатановий	9,31	42,86	21,43	1	-4,99	-68,23	-68,28
Ясень звичайний	8,19	35,33	17,78	1	-16,42	-73,81	-73,68
Клен ясенелистий	8,48	74,90	36,04	1	-13,46	-44,47	-46,66
Дуб канадський	8,06	27,50	13,87	4	-17,78	-79,61	-79,48
Вереза звичайна	6,27	26,92	13,46	1	-36,02	-80,04	-80,08
Кінський каштан	7,54	22,92	11,46	1	-23,06	-83,01	-83,04
Клен гостролистий	9,40	28,16	31,91	1	-4,08	-79,12	-52,77
Плакуча верба	7,95	38,70	19,35	1	-18,87	-71,31	-71,36
Катальпа	7,90	62,68	31,34	1	-19,38	-53,53	-53,62

Рисунок В.2 – Результати розрахунків у Microsoft Excel (частина 2)