

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.Ф. Фролов
« _____ » _____ 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

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

Тема: «Оцінка ліхенофлори як індикатора стану атмосферного забруднення зони аеропорту»

Виконавець: студентка групи ЕК-401б Процак Юлія Олександрівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: д-р.техн.наук, професор кафедри екології Маджд Світлана Михайлівна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер:

(підпис)

Явнюк А. А.
(П.І.Б.)

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

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

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Фролов В.Ф.

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Процак Юлії Олександрівни

1. Тема роботи «Оцінка ліхенофлори як індикатора стану атмосферного забруднення зони аеропорту» затверджена наказом ректора від «25» березня 2021 р. №481/ст.
2. Термін виконання роботи: з 24.05.2021 р. по 20.06.2021 р.
3. Вихідні дані роботи: методичні матеріали, картографічні матеріали, дані моніторингових спостережень.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз можливості застосування біологічних методів оцінки стану атмосферного повітря на територіях прилеглих до авіапідприємств; методика оцінки стану атмосферного повітря поблизу аеропорту ліхеноіндикації; визначення видового складу та екологічних особливостей лишайників на територіях прилеглих до аеропорту; дослідження ліхенофлори як індикатора стану повітря поблизу аеропорту.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вибір та формулювання теми дипломної роботи.	04.02.2021– 05.02.2021	
2.	Пошук та опрацювання літературних джерел стосовно обраної теми.	10.02.2021 – 20.02.2021	
3.	Робота над 1 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	25.02.2021 – 04.03.2021	
4.	Робота над 2 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	07.03.2021– 19.03.2021	
5.	Робота над 3 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	21.03.2021 – 01.04.2021	
6.	Робота над 4 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	02.04.2021– 15.04.2021	
7.	Написання загальних висновків та попереднє редагування тексту диплому.	16.04.2021– 28.04.2021	
8.	Оформлення дипломної роботи відповідно до вимог.	03.05.2021– 16.05.2021	
9.	Остаточне редагування дипломної роботи.	17.05.2021– 25.05.2021	
10.	Створення презентації до дипломної роботи.	26.05.2021– 02.06.2021	
11.	Захист дипломної роботи.	16.06.2021	

7. Дата видачі завдання: «24» травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): _____ Маджд С.М.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____ Процак Ю.О.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оцінка ліхенофлори як індикатора стану атмосферного забруднення зони аеропорту»: 61 с., 11 рис., 4 табл., 49 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – оцінка стану епіфітних лишайників як індикаторів стану атмосферного повітря зони аеропорту.

Мета роботи – оцінити рівень забруднення атмосферного повітря зони аеропорту методом ліхеноіндикації.

Методи дослідження: комплексний науковий аналіз літературних джерел, проведення досліджень та спостережень, обробка та узагальнення отриманих дослідних та науково-теоретичних даних.

АЕРОПОРТ, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ, БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ, БІОІНДИКАЦІЯ, ЛИШАЙНИКИ, ЛІХЕНОІНДИКАЦІЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЯХ ПРИЛЕГЛИХ ДО АВІАПІДПРИЄМСТВ.....	11
1.1. Загальна характеристика біологічних методів оцінки атмосферного повітря.....	11
1.1.1. Етапи становлення методів біоіндикації.....	11
1.1.2. Поняття біоіндикації та її переваги.....	13
1.1.3. Найпоширеніші методи біоіндикації та їх характеристика	17
1.2. Ліхеноіндикація як метод оцінки стану атмосферного повітря поблизу аеропорту.....	19
1.3. Вплив діяльності аеропортів на атмосферу.....	21
1.4. Висновки до розділу.....	24
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПОБЛИЗУ АЕРОПОРТУ МЕТОДОМ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ.....	25
2.1. Характеристики досліджуваного аеропорту «Київ».....	25
2.2. Методи ліхеноіндикації та їх застосування в Україні та світі	27
2.3. Методика проведення спостережень за лишайниками.....	31
2.4. Висновки до розділу.....	34
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛИШАЙНИКІВ НА ТЕРИТОРІЯХ ПРИЛЕГЛИХ ДО АЕРОПОРТУ.....	35
3.1. Екологічні особливості лишайників в зоні впливу аеропорту.....	35
3.2. Видовий склад лишайників на території аеропорту.....	38
3.3. Висновки до розділу.....	41
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІХЕНОФЛОРИ ЯК ІНДИКАТОРА СТАНУ ПОВІТРЯ ПОБЛИЗУ АЕРОПОРТУ.....	43

4.1. Спостереження за пригніченням росту епіфітних лишайників в зоні аеропорту.....	43
4.2. Оцінка стану атмосферного повітря на досліджуваних територіях.....	46
4.3. Визначення швидкості осадження забруднюючих речовин на поверхні лишайників.....	47
3.3. Висновки до розділу.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

МА – міжнародний аеропорт;

ЗПС – злітно-посадкова смуга;

ІКАО – міжнародна організація цивільної авіації;

НПС – навколишнє природне середовище.

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасному суспільстві все більше зростає роль транспортної галузі, без регулярних пасажирських і вантажних перевезень не можливо уявити життя людства. Саме тому активно розвивається і авіаційна галузь, а кількість польотів постійно збільшується. Кожен політ літака та його наземне обслуговування, чинять значний хімічний та фізичний вплив на складові навколишнього природного середовища (НПС). Особливо негативно це відображається на складі та якісних характеристиках атмосферного повітря, на територіях, що оточують, та наближені до підприємств з експлуатації авіаційної техніки. Забруднюючі речовини поступово накопичуються в атмосферному повітрі та впливають на нормальне функціонування екосистем та здоров'я населення, що мешкає поблизу. Саме тому все більш необхідними є регулярні дослідження та моніторинг якості атмосферного повітря навколо аеропортів.

На сьогодні, існує велика кількість методів оцінки його стану, серед яких як хімічні, фізичні, фізико-хімічні так біологічні. Застосування інструментальних методів є досить складною, вартісною, й, у більшості випадків, в недостатній мірі забезпеченою необхідним обладнанням, приладами вимірювання та оснащеними лабораторіями. Крім того, використання тільки фізико-хімічних методів не дає змоги повноцінно оцінити реакцію живих організмів та ступінь впливу на них. до того ж, такими дослідженнями неможливо охопити все різноманіття екосистем.

Саме тому, не менш важливим є використання біологічних методів досліджень стану атмосферного повітря в зоні аеропорту, адже деякі живі організми, що знаходять на прилеглих територіях, мають змогу показати якість та стан середовища їх існування, тобто наявність або відсутність сильного хімічного забруднення з боку об'єкту впливу.

До одного з найінформативніших та найбільш дієвих біологічних методів відносять метод ліхеноіндикації, що являє собою оцінку атмосферного повітря шляхом дослідження та спостереження за ліхенофлорою певної місцевості, в якості

його індикатора.

Дослідженням питання впливу підприємств, що експлуатують авіаційну техніку на якість атмосферного повітря займались в своїх роботах Маджд С. М., Франчук Г. М., Трофімов І. Л., Кіпніс Л.С., Ісаєнко В.М., Дмитруха Т.І. Також, в публікаціях Франчука Г. М. та Маджд С. М. раніше було успішно використано метод ліхеноіндикації стану повітря на території аеропорту «Київ» імені Ігоря Сікорського.

Мета і завдання виконання дипломної роботи.

Мета роботи – оцінити рівень забруднення атмосферного повітря зони аеропорту методом ліхеноіндикації.

Завдання роботи:

1. Визначити переваги застосування біологічних методів оцінки стану атмосферного повітря в порівнянні з хімічними методами.
2. Проаналізувати можливості застосування методу ліхеноіндикації для оцінки стану атмосферного повітря аеропорту.
3. Встановити джерела та основні хімічні речовини атмосферного забруднення в зоні впливу аеропорту.
4. Визначити видовий склад та екологічні особливості ліхенофлори на територіях прилеглих до аеропорту.
5. Оцінити ступінь пригнічення росту епіфітних лишайників в умовах постійного впливу забруднюючих речовин аеропорту як індикаторів забруднення.

Об'єкт дослідження – оцінка стану епіфітних лишайників як індикаторів стану атмосферного повітря зони аеропорту.

Предмет дослідження – ліхенофлора на території, прилеглий до аеропорту «Київ».

Методи дослідження – комплексний науковий аналіз літературних джерел, проведення досліджень та спостережень, обробка та узагальнення отриманих дослідних та науково-теоретичних даних.

Особистий внесок випускника: було проаналізовано наукові літературні джерела в області досліджень забруднення атмосферного повітря аеропортами та визначено основні забруднюючі речовини від нього. Проведено аналіз можливості

застосування біологічних методів оцінки стану атмосферного повітря в аеропортах. Здійснено спостереження за ліхенофлорою в зоні впливу забруднюючих речовин аеропорту, та на основі аналізу отриманих даних зроблено висновок про стан атмосферного повітря на досліджуваних територіях.

Апробація отриманих результатів. Результати дипломної роботи доповідалися на: XIX Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки», м. Київ, 2019 рік; XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів “Екологічна безпека держави” м. Київ, 2019 рік; XXI Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки» м. Київ, 2021 рік.

Публікації: за результатами досліджень було надруковано: 1 статтю в науковому фаховому виданні, 3 тези доповідей у Міжнародних наукових конференціях та 4 тези доповідей у Всеукраїнських наукових конференціях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЯХ ПРИЛЕГЛИХ ДО АВІАПІДПРИЄМСТВ

1.1. Загальна характеристика біологічних методів оцінки атмосферного повітря

Використання біологічних методів досліджень стану НПС набуває все більшого поширення, як в Україні так і світі. Загалом до біологічних методів відносять дві їх групи, а саме методи біоіндикації та біотестування.

Біоіндикація являє собою дослідження та оцінку складових навколишнього середовища, шляхом вивчення та спостереження за існуванням живих організмів в середовищі їх знаходження.

Біотестування ж, несе в собі проведення лабораторних експериментальних досліджень, які вивчають реакції живих організмів у відповідь на дію певних чинників та забруднення [1,2].

1.1.1. Етапи становлення методів біоіндикації

Впровадження біоіндикаційних методів тісно пов'язане з розвитком біології. Ще в античні часи згадувалося, що характеристики ґрунту та рівень вологості можна оцінювати на основі спостережень за рослинами. У XIX ст. було розроблено теорію взаємозв'язку між рослинністю та умовами існування (робота А. Гумбольдта) [1].

Перші схеми рослин, як індикаторів, що вказують на стан гірських порід, були складені А.П. Карпінським наприкінці XIX століття і потім, на основі цього було визначено новий напрямок теорії індикаторів - природні рослинні угруповання.

З початком XX ст. почали широко використовуватися методи біоіндикації для різноманітних досліджень, а саме дослідженнях клімату, сільськогосподарських угідь,

гірських порід, ділянок підземних вод та розвідки корисних копалин (праці Л. Г. Раменського, В. Н. Сукачева, Б. В. Виноградова та ін.) [1-3].

Найактивніше, біологічна індикації почала розвиватись у другій половині ХХ століття. На початку 1960-х років виникла проблема рекреаційної дигресії, тобто зміни стану природного середовища місць масового дозвілля та відпочинку, саме тоді, для оцінки забруднення повітря почали використовувати лишайники. У 1970-х рр. вивчався вплив випасу худоби на луки.

Наприкінці ХХ ст. зацікавленість людей у вирішенні екологічних проблем значно зросла, і були створені різні групи впливів, що мають антропогенний характер, а саме: евтрофікація води, хімічне забруднення ґрунтів, вплив рекреаційної галузі на організми та найбільш поширені забруднювачі[4].

Дисфункція репродуктивної системи, динаміка зменшення популяції та зміни в структурі та видового різноманіття популяції, зміна мікробіоти ґрунту та багато інших показників вивчались як показники антропогенного впливу.

На сьогодні, біологічна індикація забруднення все частіше використовуються у сферах охорони навколишнього середовища та управління навколишнім середовищем.

Деякі методи біологічного тестування з'явилися на початку ХХ століття. Вони почали застосовуватись для оцінювання токсичності промислових стічних вод та ступеня забруднення природних водойм, але, активно, біологічні випробування почали розвиватися лише в 1960-х роках.

У більшості західних країн майже всі організації та установи, що охороняють та контролюють навколишнє середовище, широко впровадили біологічні випробування. Було розроблено різноманітні стандарти та вимоги для біотестів із використанням ракоподібних, риб та багатьох інших водних організмів та створено досить надійну науково-методологічну базу для застосування біологічних методів у практиці контролю токсичного забруднення води [2-5].

Було рекомендовано використовувати метод ракоподібних дафній як пріоритетний метод біологічного аналізу для контролю стічних вод та виявлення потенційної небезпеки токсичних речовин, що забруднюють водойми у

встановленому режимі.

Дані методи продовжують активно розвиватись і на сьогоднішній день, як додаткові або альтернативні способи оцінки стану НПС, на рівні з хімічними та фізичними.

1.1.2. Поняття біоіндикації та її переваги

Біоіндикація широко застосовується в якості методу виявлення тиску людини на біологічні спільноти під час проведення екологічних досліджень. Даний метод заснований на вивченні впливу факторів зовнішнього середовища на різні характеристики біологічних об'єктів та систем. Таким чином, стан навколишнього середовища можна оцінити за допомогою живий організмів та їх реакцій на певні зміни.

Живі організми (системи) являють собою клітини, організми, популяції та групи, за допомогою яких можна оцінювати вплив біотичних, абіотичних та антропогенних факторів. Методи біоіндикації використовують для визначення стану різноманітних складових навколишнього природного середовища, таких як повітря, ґрунт, водні об'єкти [4-7].

Зазвичай, обирають найбільш чутливу біологічну систему або організм в якості біологічних індикаторів.

Індикатор - це група особин того самого виду чи спільноти, про існування, статус та поведінку яких, роблять спостереження за змінами навколишнього середовища (включаючи наявність та концентрацію забруднюючих речовин).

Спільнота індикаторів - це спільнота, про швидкість розвитку якої, структуру та стан здоров'я окремих популяцій мікроорганізмів, грибів, рослин та тварин можна судити відповідно до загального стану навколишнього середовища, включаючи його природні та техногенні зміни [4].

Під час проведення біоіндикаційних досліджень та в ході аналізу біологічної реакції на забруднення повітря необхідно розрізняти газостійкість та газочутливість рослин [1].

Газостійкість являє собою здатність зберігати процеси властиві організму процеси життєдіяльності та розмноження насіння в умовах забруднення атмосферними газами та парами. Рівень опору повітря виду чи особини оцінюється як максимальна концентрація токсичних речовин, яка не буде спричиняти порушень у роботі та структурі організму протягом періоду максимальної фізіологічної активності та чутливості до активних атмосферних домішок.

Газочутливість – це реакція організму на дію забруднюючих речовин протягом певного періоду його розвитку. При вивченні біологічних показників необхідно враховувати системну приналежність видів та зміни їх газостійкості.

Різні специфічні та неспецифічні ознаки можуть бути використані як біологічні індикаторні ознаки. Неспецифічна індикація забруднення авіаційної техніки може здійснюватися за допомогою різних біохімічних та фізіологічних реакцій .

Основними показниками, що відображають стрес в організмі-індикатора є [3]:

- зміна активності ферментів;
- руйнування пігментів у листі рослин під дією забруднення повітряними технологіями. Відновлення хлорофілу було добре вивчено. Під впливом діоксиду вуглецю вміст лютеїну збільшується, а кількість каротину зменшується;
- гормони старіння-етилен та абсцизова кислота з'являються передчасно;
- зміни в мінеральному обміні. Орієнтовними ознаками є зміни вмісту жирних кислот, збільшення вмісту сахарози та глюкози.

Одним з найбільш типових індикаційних ознак специфічного характеру є зміна хімічного складу біомаси та накопичення забруднюючих речовин. Вміст забруднюючих речовин залежить від віку листя.

Неспецифічними ознаками індикації є зазначення різних морфологічних, анатомічних та поведінкових параметрів. Поширеним показником є наявність хлорозу та некрозу, оскільки вони перемогли флору на землі, що призвело до передчасної дефоліації, тобто опадання листя.

Загалом до біоіндикаційних ознак належать: зміна розміру клітин тканини, ходів смоли, зміни розміру листя, стебла та організму. Під впливом токсичних газів, переривання життєвих процесів може призвести до змін у структурі тканини, окремих

органів та загальних форм росту рослин. Крайнім випадком дії токсичних речовин є утворення тератом. Часто трапляються деформації листя дерев і чагарників - потворне перетягування, набрякання або згинання листя, зміна форми лишайників.

Перевагами використання живих індикаторів є те, що [4]:

- в умовах хронічного впливу людини через кумулятивні ефекти можуть реагувати навіть відносно слабкі впливи;
- відповідь проявляється як накопичення певних критичних значень загальної дози ефекту;
- здатні без винятку підсумувати вплив усіх біологічно важливих впливів, що відображають загальні екологічні умови, включаючи забруднення та інші техногенні зміни;
- усувають необхідність реєструвати хімічні та фізичні параметри, що характеризують стан навколишнього середовища;
- спроможні реєструвати швидкість змін, які відбуваються в НПС;
- показують місця накопичення різних забруднювачів та токсичних речовин, а також їх можливі шляхи надходження в їжу людини;
- дають змогу робити висновки про ступінь шкоди будь-якої речовини, синтезованої людиною для диких тварин та їх самих.

Чутливі індикатори вказують на наявність забруднюючих речовин у повітрі чи ґрунті через ранні морфологічні реакції - зміна кольору листя (жовта, коричнева чи бронзова), різні форми некрозу, передчасне в'янення та опадання листя. У багаторічних рослин забруднювачі можуть спричиняти зміни розміру, форми та кількості органів, напрямку росту гілок або родючості. Ця реакція, як правило, неспецифічна [8-9].

Відповідно до рівня організації біологічної системи можна встановити різні рівні біологічних показників [3]:

- Рівень 1: біохімічні та фізіологічні реакції;
- Рівень 2: аномальна анатомія, морфологія, біологічний ритм та поведінка;
- Рівень 3: зміни у флорі та фауні;

- Рівень 4: генетичні зміни;
- Рівень 5: біогеоценологічні зміни;
- Рівень 6: зміни ландшафту.

Загалом існують два методи біоіндикації – пасивний моніторинг та активний моніторинг. У першому випадку вивчення видимих чи невидимих пошкоджень або відхилень від норм у вільноживучому організмі є ознакою стресу. Активний моніторинг виявляє однакові наслідки для досліджуваних організмів за стандартних умов у досліджуваній зоні.

При біоіндикації необхідно враховувати чотири основні вимоги [3]:

- Відносна швидкість реакції.
- Можливість отримати досить точні та повторювані результати.
- Існування об'єктів, що використовуються для біологічних показань, якщо це можливо, у великій кількості та з однорідними характеристиками.
- Порівняно з іншими методами випробувань, діапазон помилок не перевищує 20%.

Оцінити зміни у поведінці індикатора, у порівнянні зі стандартною ситуацією контролю, можливо за допомогою порівняння з контрольними об'єктами, як еталонними. Наприклад, при оцінці екологічного стану поверхневих вод в якості біологічних показників використовуються поведінкові спостереження дафній, моллюсків та деяких риб. Багато рослин-індикаторів реагують на збільшення або зменшення концентрації мікроелементів та макроелементів у ґрунті. Це явище використовується при попередній оцінці ґрунту для визначення можливих місць пошуку корисних копалин.

Біоіндикатор, у режимі реального часу, не повинен бути надто чутливим, а також надто стійкими до забруднення. Вони повинні мати досить тривалий життєвий цикл. Важливим є те, що такі організми мають бути досить поширеними на земній поверхні, і кожен вид повинен бути присвячений певному місцезнаходженню.

Лишайники цілком відповідають усім цим вимогам. Вони реагують на забруднення інакше, чим вищі рослини. Довгостроковий вплив низьких концентрацій

забруднюючих речовин викликає в лишайників такі ушкодження, що не зникають аж до загибелі їхніх сланей. Завдяки цілому ряду біологічних особливостей лишайники є добрими індикаторами зміни стану навколишнього середовища в умовах його забруднення двоокисом сірки, фторидами, лужним пилом, важкими металами [6-10].

Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих економічних витрат і дає можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу. Фактори навколишнього середовища суворо визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які не можуть. З огляду на це, ми можемо використовувати обернену модель, для оцінки стану середовища організмів, що в ньому живуть [11].

1.1.3. Найпоширеніші методи біоіндикації та їх характеристика

Проміж усіх методів біоіндикації, найбільш поширеними є використання в якості показників лишайників (ліхеноіндикація), моху (бріоіндикації), деяких дерев (дендроіндикація) або грибів (мікоіндикація) [1-3].

Лишайники є особливо чутливими до складу та якості атмосфери, тому їх широко використовують у дослідженнях її стану в окремих регіонах чи цілих містах. Їх реакція на забруднення відрізняється від реакції вищих рослин.

Тривалий вплив низьких концентрацій забруднюючих речовин може завдати стільки шкоди лишайникам, що вони не зникнуть, поки їх слані не загинуть. Завдяки багатьом біологічним характеристикам лишайники є найкращими індикаторами змін навколишнього середовища, особливо з точки зору забруднення діоксидом сірки, вуглецю, фтору, лужного пилу, важкими металами, тощо [5].

Даний метод отримав назву ліхеноіндикація, яка оцінює атмосферу, спостерігаючи за розподілом і станом лишайників на певних територіях. Виділяють візуальну (за наявності певних видів, що визначають забруднення повітря та виконуючи картографування лишайників у цій місцевості) та експериментальну (вимірювання вмісту забруднюючих речовин в тілах лишайників). Важливо, щоб ці два типи досліджень лишайників не суперечили одна одній, і їх зазвичай

використовують разом: спочатку візуально, потім експериментально.

Мохи є природними біологічними індикаторами, що мають змогу реагувати на забруднення або посуху. В залежності від того, які зміни відбувається навколо, він може змінювати свою форму і щільність, або взагалі повністю зникнути. Мох поглинає воду та поживні речовини там, де він росте, що є чудовим показником змін в екосистемі [7,8].

Діагностична цінність мохових організмів не менша, ніж у лишайників, і вони навіть мають певні переваги: при наявності сильного ступеня забруднення на техногенно навантажених територіях, лишайникові організми бувають в занадто пригніченому стані, та як наслідок мають настільки низьку частоту трапляння, що проведення досліджень стає неможливою, тоді як урбанofільні мохи без проблем можуть існувати в таких умовах.

Окремі види мохів мають надзвичайну чутливість до несприятливого впливу на атмосферну забруднюючих речовин, що також є корисним у процесі біологічних показників. Одне з визначних місць займають епіфітні мохи, що завдяки своїм особливостям мінерального живлення та виразній реакції на забруднюючі речовини дозволяють охопити різні рівні забруднення. Проводячи моніторинг цих змін в стані навколишнього природного середовища, можна встановити ступінь забруднення атмосферного повітря, який здатен завдати шкоди всім живим організмам, в тому числі людському [9].

Стійкість екосистеми залежить від стану того вищу, що є едифікатором всього угруповання, в якому вона продовжує існувати. Для екосистем лісу цими об'єктами є дерев'яні рослини. Для біологічної індикації вибирають найбільш чутливі до певних факторів біологічних систем або організмів, що досліджуються. Для дерев найкращим вегетативним органом є листя рослини. Під впливом людини форма листя змінюється (з'являється асиметрія, а площа листя зменшується). Хорошими біологічними показниками в містах є листя берези, дерева з високим поглинанням [10-14].

У процесі формування листя, при накопиченні токсичних речовин, процес росту і деформація листя гальмуються. Після остаточного формування листя на деревах, які зазнають великого людського навантаження, їх площа менше, ніж у дерев, вирощених

у більш сприятливих умовах навколишнього середовища.

Породи деревини займають місце едіфікаторів та відіграють важливу роль у створенні біологічного середовища та формуванні структури біологічного співтовариства. Нижній рівень рослинності відіграє другорядну роль щодо деревних порід, але для характеристики та визначення умов лісової рослинності він знаходиться або в тому самому положенні, або у більш важливому положенні (особливо на штучних плантаціях). Але в будь-якому випадку кожен вид життєво важливий. Однак, коли кваліфікований експерт з лісового господарства визначає тип умов лісової рослинності, вони одночасно оцінюватимуть всю сукупність цих показників - і видовий склад, співвідношення видів, їх розмір та зовнішній вигляд насадження. Частка певних видів у конкретній лісовій місцевості є важливою для визначення типу умов лісової рослинності. Цей показник вказує на потенційну продуктивність ґрунту та вміст його вологи[8,9].

З використанням рослинних організмів можливо провести біоіндикацію будь-яких природних середовищ. Рослини-індикатори використовуються для оцінки механічного та кислотного складу ґрунту, родючості, вологості та солоності, ступеня мінералізації підземних вод та ступеня забруднення повітря газоподібними сполуками, а також визначення ступеня забруднення забруднювачами у водоймах. Часто, наявність свинцю в ґрунті представлений бур'янами (*Festuca ovina*), віниками (*Agrostis tenuis*), цинковими фіалками (*Viola* триколог), мідними та кобальтовими смолами (*Silene vulgaris*), багатьма видами зерен та моху [10].

1.2. Ліхеноіндикація як метод оцінки стану атмосферного повітря поблизу аеропорту

Лишайникові організми є невід'ємними частинами багатьох рослинних спільнот. Їх різноманітність та широке поширення на різноманітних екологічних просторах, викликали великий інтерес до їх ролі в екосистемі.

Ліхеноіндикація є одним із найінформативніших та найбільш поширеним біологічним методом досліджень стану атмосферного повітря на територіях, що

зазнають підвищеного техногенного навантаження з великою кількістю забруднюючих речовин, до яких належать і аеропорти [11,14,15].

Вважається, що діоксид сірки, діоксид азоту, фтор і важкі метали, що є найпоширенішими забруднювачами повітря поблизу аеропорту, мають найбільший вплив на життя лишайників. Діоксид вуглецю є переважаючим чинником впливу та визначає розповсюдженість великої кількості епіфітних лишайників. Його концентрація 0,08-0,1 мг/м³ може спричинити порушення процесу фотосинтезу, у хлоропластах водоростей лишайників з'являються коричневі плями, хлорофіл деградує та пригнічується ріст талому лишайника.

При низькому рН атмосферної вологи (3,2-3,4) хлорофіл необоротно окислюється, при рН 2-3 він перетворюється у феофітин і далі розкладається. Підвищена вологість може спричинити збільшення розчинення SO² та закислення навколишнього середовища. З цієї причини лишайники дуже нестійкі до фітотоксикантів при високій вологості, але при низькому вмісту вологи, якщо вони можуть успішно вижити при високій концентрації SO². Молоді лишайникові організми мають більшу чутливість, в порівнянні з старими [13, 17-19].

Загалом лишайники можуть проявляти різні реакції на атмосферне забруднення: одні з них не можуть терпіти навіть найменшого забруднення і гинуть, а інші, навпаки, розповсюджуються тільки в містах та інших населених пунктах, маючи гарні пристосування до певних несприятливих техногенних умов. Проаналізувавши цю здатність лишайників, можливо використовувати їх для всебічної оцінки ступеня забруднення навколишнього середовища, особливо стану саме атмосферного повітря. Саме на основі цього метод ліхеноіндикації почав активно розвиватись та поширювати.

Лишайники, як індикатори стану атмосферного повітря поблизу аеропорту, мають ряд переваг, а саме [19]:

- Високий рівень точності отриманих результатів;
- Значну чутливість до негативного впливу забруднюючих речовин аеропортів;
- Тривалий вплив низьких концентрацій токсичних речовин завдає

лишайникам пошкоджень, які не відновляться все до самої загибелі талому;

- Повільне оновлення тіла, внаслідок чого хорошу накопичувальну здатність
- Не потребують значних економічних витрат.

1.3. Вплив діяльності аеропортів на атмосферу

Аеропорт являє собою багатофункціональне підприємство, розташоване на значних, за розміром площах та виконує велику кількість функцій. Він має значний спектр діяльності, починаючи від прийому та виїзду пасажирів, і закінчуючи постійними вантажними перевезеннями [20]. Саме тому, діяльність авіапідприємств, як і сама авіаційна промисловість мають значний вплив на навколишнє середовище, особливо страждає атмосферне повітря.

Донедавна дослідженням впливу авіакомпаній на екосистеми та здоров'я людини не приділялося достатньої уваги, а також не було приділено належної уваги в колі сучасних соціальних проблем людства. Але нещодавно, визнання людьми важливості захисту навколишнього середовища, як основи можливості подальшого існування всієї планети, викликало увагу людей до екологічних проблем та занепокоєння щодо методів їх вирішення. Тому, уряди різноманітних країн, почали впроваджувати принципи екологічної політики, які направлені на максимальне послаблення впливу авіаційної галузі на НПС, в тому числі й на атмосферу [21,22].

В процесі переміщення літаків з одного аеропорту в інший, а також при їх наземному обслуговуванні спеціальною технікою, для заправки, ремонту, миття, тощо, атмосфера забруднюється в значному масштабі, а особливо страждають території, що оточують аеропорти. До того ж, коли на трасах польоту, вище 8-12 км небезпека від цього забруднення є незначною, то в зоні аеропорту таке забруднення не враховувати не можливо.

Робота літаків та спецтранспорту по його обслуговуванню, особливо відображається на якісних характеристиках та хімічному складі атмосфери в оточуючих районах. Під час експлуатації літака в районі аеропорту, від запуску

двигуна літака і до його зупинки після посадки, в атмосферу безперервно потрапляє різна кількість шкідливих забруднювачів.

Літаки забруднюють атмосферу через викиди шкідливих речовин з відпрацьованих газів авіаційних двигунів. Шкідливі гази в атмосферне повітря викидаються соплами та вихлопними патрубками авіадвигунів. Цей процес має назву емісія авіаційних двигунів [23].

Викиди, які надходять від літаків в атмосферу, є продуктами повного та неповного згоряння вуглеводнів авіаційного палива. Однак кількість продуктів повного згоряння прямо пропорційна кількості спаленого палива і не має нічого спільного з режимом роботи та конструкцією самого двигуна.

Зміст продуктів неповного згоряння залежить від того, як працює авіаційний двигун та його конструкції. Складова і кількісна частина забруднюючих речовин, що викидаються в повітря, також пов'язані з якістю палива, що використовується авіадвигунами. Як наслідок, хімічний склад викидів залежить від типу палива, його якості, технології виробництва, способу згоряння в двигуні та його технічного стану.

ІКАО визначила найбільш поширені речовини, що входять до складу викидів двигунами літаків, в атмосферу, серед яких представлені: оксиди сірки (SO_x), оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO), різноманітні вуглеводні (C_xH_y), а саме метан, ацетилен, етан, бензол, також альдегіди (формальдегід, акролеїн, оцтовий альдегід, сажа) [18].

Вміст NO_x у складі викидів авіадвигуна залежить від [24]:

- Температури суміші в камері згоряння (чим вище значення, тим більше генерується NO_x), максимальне значення (2500-3000 K) в режимі зльоту;
- Тривалості перебування суміші в камері згоряння (чим вона більша, тим більше утворюється NO_x), що відбувається на низьких швидкостях літака.

Тобто, максимальний викид NO_x з'являється в режимі зльоту двигуна та режимі, близькому до нього (при зльоті та наборів висоти).

В процесі зльоту літака, у пришляховому просторі, близько половини викидів у вигляді твердих часток, пилу, важких металів, тощо, відразу розсіюються на оточуючих ЗПС територія, а інша частина, залишається у повітрі у вигляді аерозолу

кілька годин, а потім також осідає на землі.

Якщо припустити, що авіаційний двигун знаходиться в стаціонарному режимі і працює за оптимальних параметрів, не перевантажуючи 35-50% своєї потужності, вміст оксидів вуглецю та вуглеводів зменшиться, але викиди оксидів азоту збільшаться. Якщо двигун перевантажується в 1,1-1,2 рази, під час зльоту та набору висоти на збагаченій паливній суміші, в атмосферу надходить велика кількість сажі [25].

Найбільш серйозне забруднення навколишнього середовища спостерігається в районі аеропорту під час посадки та зльоту літак, а також під час прогріву двигуна. Режим низької швидкості і "холостий хід" є найбільш несприятливими режимами роботи авіаційних двигунів. Саме у цих режимів кількість забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу, значно перевищує викиди інших моделей. Наприклад, коли літак злітає і приземляється 300 разів, щодня в атмосферу потрапляє 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводнів і 1,7 т оксидів азоту. Однак забруднювачі не потрапляють у навколишнє середовище постійно, а залежать від графіку роботи аеропорту [24].

Вуглеводневі суміші є основними компонентами рідкого та газоподібного палива. Авіаційні палива бензин та гас мають різний вміст сірки та парафінових, нафтових й ароматичних вуглеводнів.

Кожен розроблений двигун, який буде експлуатуватись літаком, перед введенням у масове виробництво проходить ряд випробувань (сертифікацій), включаючи дослідження екологічної безпеки, тому ІКАО також, встановила суворі стандарти викидів двигунів літаків.

Кількісною особливістю викидів шкідливих речовин авіаційними двигунами є Індекс емісії (EI), що вказує скільки грам таких шкідливих речовин викидається в повітря, в процесі спалювання 1 кілограм палива. Даний Індекс характеризує організацію процесу згоряння в камері згоряння кожного прототипу двигуна і пов'язаний з конструктивно-експлуатаційними характеристиками камери згоряння. Тому його часто називають емісійними характеристиками двигуна.

Індекс викидів визначається під час сертифікаційного випробування. Вміст CO і C_xH_y у відпрацьованих газах авіаційного двигуна зумовлений неповним згорянням

палива в двигуні, і цей процес залежить від характеристик його параметрів горіння, тобто коефіцієнта горіння та режиму роботи двигуна.

Близько половини викидів літаків відбувається у вигляді твердих частинок, багато з яких - важкі метали, розкидані по дорозі, а решта залишаються в атмосфері у вигляді аерозолів протягом декількох годин і врешті-решт осідають у ґрунті та рослинах. [18].

Забруднюючі речовини накопичуються в повітрі в районі аеропорту у великих кількостях і спричиняють зміни в їх хімічному складі та властивостях, що в свою чергу призводить до дисбалансу функцій екосистеми. Тому стає дедалі важливішим регулярне проведення моніторингових досліджень кількісних та якісних характеристик атмосфери поблизу аеропорту.

1.4. Висновки до розділу

Отже, літературний аналіз показав, що біологічні методи оцінки стану НПС, на сьогодні набувають все більшого поширення, як не менш інформативні та точні, в порівнянні з фізико-хімічними. До них відносять біоіндикацію та біотестування. Біоіндикація включає в себе велику кількість методів, які відрізняються видом організму, що виступає індикатором

Визначено, що для оцінки стану саме атмосферного повітря, переважно, використовують один із цих методів, що має назву ліхеноіндикація, тобто спостереження за лишайниками, як індикаторами вмісту забруднюючих речовин в атмосфері. Адже, лишайники відрізняються особливою чутливістю до змін в її складі, і здатні реагувати на появу будь-яких забруднюючих речовин, особливо таких як оксиди вуглецю, сірки, азоту та важких металів, що є основними забруднюючими речовинами аеропортів.

Тому, встановлено, що метод ліхеноіндикації можливо успішно застосувати під час досліджень стану атмосферного повітря поблизу аеропорту, та в значних кількостях викидаються в атмосферне повітря двигунами літака.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПОБЛИЗУ АЕРОПОРТУ МЕТОДОМ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ

2.1. Характеристики досліджуваного аеропорту «Київ»

Дослідження стану атмосферного повітря проводились на ділянках, розташованих на території, що оточує міжнародний аеропорт «Київ» ім. Ігоря Сікорського (Жуляни) [24].

МА «Київ» імені Ігоря Сікорського є другим, за величиною, міжнародним пасажирським аеропортом в Україні та Києві, що знаходиться в мікрорайоні Жуляни, за 8 кілометрів на південний захід від центру міста Києва та займає площу 265 га (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Міжнародний аеропорт «Київ» імені І. Сікорського

Після аеропорту "Бориспіль" та "Львів" аеропорт Жуляни є третім за величиною пасажиропотоку. Загалом пасажиропотік в аеропорту в 2018 році становив більше 2,5

млн осіб, це дорівнює 13,69% від загального пасажиропотоку в Україні. Єдина ЗПС має довжину 2310 м і ширину 45 м. Її реконструкцію було завершено в першій половині 2009 року. Оскільки ЗПС була збільшена на 510 м, тепер вона може приймати важчі літаки, включаючи Boeing 737 та Airbus A320. 11 травня 2009 року аеропорт розпочав свою діяльність цілодобово [27].

Два злітні курси ЗПС злітно-посадкової мають ILS I категорії, який накладає обмеження на посадку повітряного судна в умовах поганої видимості. Також, ЗПС аеропорту активно використовується заводом цивільної авіації 410, який межує з територією аеропорту.

У міжнародному аеропорту «Київ» діють три пасажирські термінали [27]:

- Термінал «А» (Призначений для обслуговування міжнародних рейсів).
- Термінал «В» (Бізнес-термінал).
- Термінал «D» (Призначений для обслуговування внутрішніх рейсів).

В аеропорту, в рамках підготовки до чемпіонату Європи 2012 року, було проведено значну розбудову. Було відкрито новий міжнародний термінал "А", який відкрився для міжнародних рейсів і став найбільшим терміналом аеропорту та здатен обслуговувати 320 пасажирів на годину. У 2013 році введено в експлуатацію внутрішній льотний термінал "D" та комерційний термінал "В". Всі термінали працюють приватно.

Юридично аеропорт є власністю міста Києва, але в 2005 році хтось намагався передати цей об'єкт Міністерству транспорту та зв'язку для створення міжнародного аеропорту малої та комерційної авіації.

Поблизу аеропорту розташований один з найбільших українських національних музеїв авіації у світі, на відкритому просторі представлено багато прикладів цивільної та військової авіації.

Діяльність МА чинить значний негативний вплив на навколишнє середовище, причиною якого є: шум під час експлуатації літаків, від якого потерпають житлові забудови, що знаходяться на досить близькій відстані від ЗПС аеропорту, викиди забруднюючих речовин, електромагнітні випромінювання та забруднені стоки з території підприємства.

На сьогоднішній день, відповідно до розпорядження Київської державної адміністрації, об'єкт розпочне масштабну реконструкцію в столиці, що включає розширення ЗПС аеропорту на 500 м (до 2810 м), будівництво нових руліжних доріжок, платформ, та нове світлосигнальне обладнання. Реконструкція запланована на 2021-2025 роки та її основною метою є: збільшення рівня безпеки польотів, а також зменшення шумового, електромагнітного та хімічного навантаження на навколишнє середовище [25].

Таким чином, реконструйований аеропорт зможе вмістити сучасні літаки з більшою пасажиромісткістю і меншим рівнем шуму, а також літаки з більшою пасажиромісткістю, зменшуючи тим самим кількість рейсів та збільшуючи пасажиропотік. Крім того, літаки типу Airbus A321, являють собою сучасні, ефективний, безпечний та малошумний транспорт.

За програмою, до кінця 2025 року МА "Київ" буде оновлений і стане більш технологічним, інноваційним та безпечним з точки зору впливу на НПС.

2.2. Методи ліхеноіндикації та їх застосування в Україні та світі

Аналіз джерел показав, що на сьогодні, як в Україні так і в світі було відкрито досить велику кількість різноманітних методів ліхеноіндикації, які широко використовуються для проведення моніторингових досліджень стану атмосферного повітря як в містах так і поблизу певних техногенних об'єктів.

Один з провідних ліхенологів Х. Трасс розділяє методи ліхеноіндикації на три групи [29]:

1. Вивчення змін у будівельних та життєвих функціях лишайників під впливом забруднення.
2. Опис видів лишайників на територіях з різним техногенним впливом на атмосферне повітря
3. Вивчення всієї спільноти лишайників на забрудненій території та складання спеціальних карт.

Для визначення швидкості зміни лишайників під впливом забруднення використовують метод пересадки, який включає в себе пересадку рослин на забруднену територію. У 1892 р. Німецький учений Ф. Арнольд здійснив першу трансплантацію лишайників. Деякі надземні види цих рослин він переніс із сільської місцевості в місто Мюнхен. Незабаром усі "переселенці" загинули. У 1959 році з гір в Ботанічний сад Тартуського університету було завезено 5 видів альпійських лишайників. Вже в перші місяці перебування на новому місці лишайники сплотніли, їх апотеції втратили свій ошатний вид, ріст припинився. Через рік усі лишайники загинули. Довше інших протрималася нефрома арктична [30].

Існує кілька методів трансплантації. Земляні лишайники переносяться разом із ґрунтом, вирізаючи ділянку 20 * 20 або 50 * 50. Рунисті види можна перенести в спеціальний пластиковий тазик або повісити в сітку. Епіфітні види переносяться разом з гілками або уламками кори, на яких вони ростуть. Щоб вирізати диск з кори, використовують спеціальну дріль діаметром 4-6 см. На території необхідного району, кору і гілки з епіфітами прибивають на дерева таких самих порід, з яких вони були вилучені. Через кілька тижнів або місяців перевіряють лишайники та визначають їх пригнічення. Трансплантація окреслює індивідуальну стійкість виду [34].

Вперше зникнення лишайників було зафіксовано в Парижі в 1866 р. А. Ньюлендером. Це дало йому підстави називати їх санітарними заходами. В Україні Г. Шпек зафіксував зміни в покритті лишайників під Харковом в 1870 році.

Уперше зникнення лишайників задокументував А. Ньюлендер 1866 році у Парижі та присвоїв їм назву гігієнометрів. В Україні зміни лишайникового покриву зареєстрував Г. Шпек 1870 в околицях Харкова. У 1920-х рр. Р. Сернандер уперше виділив ліхеноіндикаційні зони в місті, зокрема зону пустелі, зону боротьби та зону слабого впливу [30-35].

В 1996 році А. Ньюлендер вперше зафіксував зникнення лишайників у Парижі. Це дало йому підстави називати їх санітарними заходами. А. Ньюлендер вперше зафіксував зникнення лишайників у Парижі в 1866 році. Це дало йому підстави називати їх санітарними заходами. В Україні Г. Шпек зафіксував зміни в покритті лишайників під Харковом в 1870 році. У 1920-х рр. Р. Сернандер вперше визначив

район міста з показником лишайників, особливо так званий район пустелі, район боротьби та слабо постраждалий район.

У 1960-х роках було запропоновано декілька показників, включаючи Індекс чистоти повітря (AIR), який є комплексним індексом, розрахованим на основі вивчення епіфітних груп лишайників у населених пунктах та промислових районах. Його розробили канадські дослідники Де Слугер та Ле Блан у 1967 році. Розраховується за формулою [29]:

$$\text{ІЧП} = \sum_{i=1}^n Q_i \times f_i / 10 \quad (2.1)$$

де Q_i – екологічний індекс (ступ. стійкості до забруднення) кожного виду; f_i – комбінований показник частоти трапляння (покриття) кожного виду; n – кількість видів, які зростають в угрупованні лишайників.

Використання цієї методики набуло популярності по всьому світу. В Україні її використовували під час складання ліхеноіндикаційних карт в деяких містах (Луцьк, Львів, Івано-Франківськ, Рівне, Тернопіль, тощо).

Індекс палеотолерантності - це комплексний індекс, розроблений дослідником Х. Трассом, що розраховується на основі вивчення епіфітних лишайників і використання їх для оцінки забруднення повітря в містах та промислових районах [37]:

$$\text{ІП} = \sum a_i \times c_i / C_n \quad (2.2)$$

де n – кількість видів на ділянці опису; a_i – клас палеотолерантності виду; c_i – покриття виду; C_n – сумарне покриття видів.

Визначення класу палеотолерантності вимагає інформації про екологію лишайників у природі та перетворених, людиною, екосистем на цій території.

Крім того, для певних видів забруднення були розроблені власні методи, що передбачають використання певних видів лишайників, найбільш чутливих до певних забруднювачів. Для виявлення кислотного забруднення повітря, застосовують переважно групи кущистих та середньочутливих листуватих лишайників, що є дуже чутливими до кислотних забруднювачів (діоксид сірки, оксид вуглецю, азот, аміак тощо).

До найбільш чутливий індикаторів забруднення кислотними речовинами належать лишайники родів рамаліна (*Ramalina*), уснея (*Usnea*), бріорія (*Bryoria*), евернія (*Evernia*), псевдевернія (*Pseudevernia*), анаптихія (*Anaptychia*), що можуть повністю зникати при наявності цих хімічних речовин в атмосферному повітрі. Їх можна знайти на околицях великих міст або в районах, далеких від промислових підприємств. Сюди ж відносять середньої чутливості, до забруднення атмосфери, лишайники *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes* [33].

В порівнянні з куцистими та листуватими видами, накипні *Lecanora conizaeoides* та *Scoliciosporum chlorococcum* є стійкими до впливу кислотного забруднення.

Індикаторами пилового забруднення є може бути накипний лишайник *Lecanora hagenii* та деякі листуваті види лишайників: представники родів феофісія (*Pheophycia orbicularis*), фісія (*Physcia stellaris*, *Ph. adscendens*, *Ph. tenella*), ксанторія, або золотянка (*Xanthoria parietina*), масюкіелла (*Massjukiella polycarpa*) та оксерія гуцульська (*Oxneria huculica*).

У роботах деяких відомих українських вчених, було докладно описано видове різноманіття рослин лишайників та рідкісні місцеві види лишайників. [31] Загалом, в процесі вивчення лишайників в Україні та світі, ними виявлено такі загальні закономірності:

- Чим більш індустріалізованим є місто, тим серйозніше забруднення повітря, тим менше видів лишайників і тим менша площа на стовбурах дерев та інших субстратах.
- Коли ступінь забруднення повітря збільшується, куцистий лишайник зникає першим, листяний лишайник зникає другим, а накипний зникає останнім.

У різних частинах міста (центри, промислові райони, парки, передмістя) виділяють абсолютно різні типи лишайників, в зв'язку з цим вчені почали визначати так звані зони лишайників у місті.

Вперше ці зони були виявили в Стокгольмі, де і почали їх класифікувати [26]:

- Лишайникова пустеля (міський центр, сильне забруднення повітря, заводська зона) - майже немає лишайників;

- Зона конкуренції (частина міста з помірним забрудненням повітря) - флора лишайників погана, а життєздатність видів знижена;
- Нормальна зона (периферійна зона), де зустрічається багато видів лишайників.

В існуючих методах також виділяють класифікацію методів індикації лишайників на пасивні та активні методи. Під час пасивних досліджень вивчають кількість лишайників, виявляють та описують їх видове різноманіття та визначають відсоток площі, яку вони займають, та загальний стан сланей. При активному спостереженні ступінь забруднення шкідливих речовин у повітрі визначається шляхом вимірювання відсотка пошкодження загальної площі тіла лишайників та методу лабораторних досліджень вмісту в ньому забруднювачів [33-35]. Спільне застосування цих методів дозволяє отримати більш повну інформацію про атмосферний стан досліджуваної території. Таким чином можна отримати не тільки якісні показники вмісту певних речовин у повітрі, але й кількісні показники.

2.3. Методика проведення спостережень за лишайниками

Під час проведення досліджень, у нашій роботі, було використано методи пасивної ліхеноіндикації, а саме визначення видового складу ліхенофлори територій навколо аеропорту, оцінку стану лишайникових організмів та визначення відсотку площі, яку вони займають. Загалом, спостереження проводились за основою методики, запропонованої Х. Трассом. Вона ґрунтується на таких принципах [29, 32, 37]:

- В якості субстрату, що вивчається, використовуються дерева. Для оцінки забруднення атмосфери вибираються види дерев, які найбільш поширені на цій території. Район дослідження ділять на квадрати, в них підраховується загальне число досліджуваних дерев, які вкриті лишайниками.
- Для оцінки забруднення атмосфери конкретної вулиці або парку описують лишайники, котрі ростуть на деревах по обидві сторони вулиці чи алеї на кожному 3,

5 або 10 дереві. Ділянка обмежується на стовбурі дерев'яною чи пластиковою палеткою розміром 10x10см, яка поділена на квадратики по 1 см².

- Відмічають, які види лишайників зустрічаються на ділянці, який процент загальної площі рамки займає кожний вид лишайника, що там росте. На кожному дереві описують чотири пробні ділянки: дві біля основи стовбура (з різних його сторін) і дві на висоті 1,4 – 1,6 м.

- Дослідження можна провести по наявності якогось одного виду лишайників на даній території, або зібрати інформацію в різних точках, або підрахувати кількість всіх видів лишайників, що ростуть в районі дослідження [29]. Крім виявлення видового складу, визначають розміри розеток лишайників і ступінь покриття у відсотках. Оцінка ступеня покриття здійснюється по шкалі Х. Трасса (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Шкала для визначення ступеня забруднення атмосферного повітря за Трассом [32]

Зони	Ступінь забруднення
I зона, < 5 %	Дуже сильне
II зона, < 15 %	Сильне забруднення
III зона, < 20 %	Середнє забруднення
IV зона, < 30 %	Відносне забруднення
V зона, < 50 %	Зона чистого повітря
VI зона, < 100 %	Дуже чисте повітря

Таким чином, для кожної ділянки опису виставляються відсотки покриття. Ці показники також осереднюються, і визначається комплексний показник ступеня покриття стовбурів дерев лишайниками (у %). Чим більший показник ступеня

покриття стовбура дерев лишайниками (чи він ближчий до 100 %), тим чистіше повітря у районі дослідження. Є прямий зв'язок між середнім ступенем покриття дерев лишайниками і концентрацією діоксиду сірки в атмосферному повітрі [32-40].

На основі вище описаної методики, нами було проведено дослідження ліхенофлори зони МА «Київ» імені Ігоря Сікорського в такому порядку:

1. Було визначено 5 дослідних ділянок, на кожній з яких вибрали по 10 дерев, і потім на кожному з них визначали ступінь покриття лишайниками стовбура дерев. На кожному дереві підраховуємо у процентах ступінь покриття стовбура лишайника за формулою: $(\text{Число цілих квадратів}) + (\text{Число нецілих квадратів}/2) = \text{Ступінь покриття лишайниками}(\%)$

2. Для досліджень було зроблено і використано прозору пластикову палетку розміром 10*10 см, розкреслену на квадрати зі сторонами 1 см, за допомогою якої визначали число цілих та нецілих квадратів, що зайняті епіфітними лишайниками (рис. 2.2).

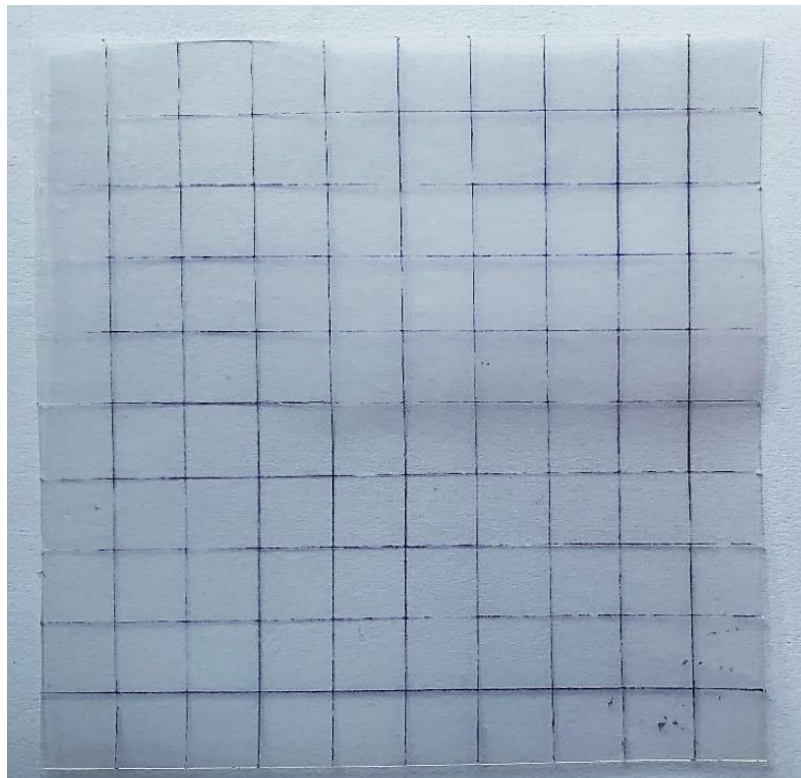


Рис. 2.2. Рамка для визначення проективного покриття лишайниками стовбура дерев

3. Потім, на основі отриманих даних спостережень, було зроблено розрахунки відсоткового ступеня покриття стовбура дерев епіфітними лишайниками з використанням формули, де число цілих квадратів + (число нецілих квадратів)/2 = ступінь проективного покриття лишайників у %.

4. Проаналізувавши отримані дані досліджень, зробили оцінку стану атмосферного повітря на кожній з 5 дослідних ділянок з використанням шкали для визначення ступеня забруднення атмосферного повітря за Х. Трассом (див. табл. 2.1)

5. Для порівняння отриманих, на території аеропорту, результатів, було також взято додаткову, контрольну ділянку, що розташована віддалено від можливих джерел активного техногенного впливу.

2.4. Висновки до розділу

Дослідження ліхенофлори проводилось поблизу міжнародного аеропорту «Київ» ім. І. Сікорського, який знаходиться в місті Києві, та є один з найбільших аеропортів України. В розділі, було розглянуто основні його характеристики та подальший розвиток.

Проаналізовано основні методи ліхеноіндикації, що застосовуються в Україні та світі, а саме методи трансплантації лишайників, картографування поширення лишайників, визначення індексу полеотолерантності, вивчення лишайників та їх угруповань, визначення їх стану, тощо.

Також, було описано методику проведення нами спостережень за епіфітними лишайниками на території аеропорту. Дана методика була запропонована відомим ліхенологом Х. Трассом. В її основі лежить використання пластикової рамки розміром 10*10 см, яка прикладається до стовбура дерева з різних сторін, за допомогою якої, визначається відсоток проективного покриття лишайниками стовбура дерева.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛИШАЙНИКІВ

3.1. Екологічні особливості лишайників

Лишайники являють собою симбіотичні організми, які утворюють талом і складаються з грибів та одноклітинних водоростей. Вони, безпосередньо, контактують з повітрям та атмосферними опадами, і так отримують все необхідне для життя. Лишайники не мають спеціальних пристосувань, щоб запобігти потраплянню токсичних речовин на їхні поверхню, тому вони дуже швидко вбираються і накопичуються в них [33-36].

Лишайниковий організм живиться процесом фотосинтезу в клітинах водоростей. Дихання, поглинання води та мінеральної солі забезпечують грибкові компоненти в повітрі. Діяльність фотосинтезу, дихання, поглинання води та солі залежить від хімічного складу світла, температури, вологості та повітря. Це пояснює реакцію лишайників у відповідь на забруднення повітря, головним чином наявність кислих оксидів в повітрі.

За місцем зростання можна виділити такі групи лишайників [36]:

- епіфітні (ростуть на корі дерев і чагарників);
- епіксильні (ростуть на оголеній деревині);
- епігейні (ростуть на поверхні ґрунту);
- епілітні (ростуть на камінні та бетоні).

Серед них найбільш чутливим до забруднення атмосферного повітря є куцистий вид лишайників [36,37].

За зовнішньою будовою лишайники поділяються на три категорії: накипні, листяні лишайники та кушасті [39].

Тіло накипного лишайника представлене у формі кірки, що як правило, невеликих розмірів, в діапазоні від декількох міліметрів до декількох сантиметрів у діаметрі (рис. 3.1). Вони міцно закріплені на основі і важко відокремлюються від неї.



Рис. 3.1. Накипні лишайники

Листуваті лишайники мають форму луски або листовидні пластинки, розміром до 10-20 см (рис. 3.2). У найпростішій формі вони являють собою круглі листові пластини. До особливостей листуватих лишайників відносять те, що на нижній частині їх тіла знаходиться спеціальне пристосування, за допомогою якого, лишайник тримається прикріпленим до субстрату.



Рис. 3.2. Талом листуватого лишайника

Кущисті лишайники являють собою гілочку або звисаючих кущів. (рис. 3.3). На організаційному рівні кущистий лишайник представляє найвищу стадію розвитку таломів. Порівняно з першими двома групами, що характеризуються горизонтальним ростом, ці лишайники мають вертикальний напрямок і верхній ріст слонів.



Рис. 3.3. Талом кущистого лишайника

Їх чутливість варіюється залежно від групи, до якої належить певний вид. Найменш чутливими до забруднення є накипні лишайники, листуваті належать до помірно чутливих, кущисті відрізняються найбільшою чутливістю до впливу забруднюючих речовин [41]. Відсутність певних груп у певній місцевості може свідчити про збільшення ступеня людського впливу в цій області. Зрештою, кущисті лишайники ростуть лише у відносно чистих районах і швидко зникають при забрудненні, тоді як у районах із великим людським навантаженням їх майже немає.

Щодо забруднення повітря, серед лишайників виділяють 3 категорії [42]:

- низької чутливості (зникають на початковій стадії забруднення);
- середньої чутливості (замінюють мертві чутливі види, з якими були не здатні конкурувати в умовах відсутності забруднення);
- найбільш витривалі (лояльні до атмосферного забруднення).

Досить часто, витривалість лишайників до забруднення обумовлюється впливом зовнішніх факторів. Наприклад, мокрий талом лишайника є більш чутливим до забруднення, ніж аналогічних з меншим зволоженням[43].

Іноді доводиться шукати пояснення, чому лишайник чинить опір забрудненню всередині самого лишайника. Важливу роль відіграють щільність кори, проникність клітин та наявність певних лишайникових речовин, які нейтралізують відкладення кислотних речовин.

Відповідно до індивідуальних особливостей лишайників, відомим ліхенологом Х. Трассом була складена шкала для визначення рівня забруднення певних видів лишайників на конкретній території. Прикладом є багато епіфітів, тобто стійкість до міських умов. Ця шкала включає десять категорій [37]:

- До першої, другої та третьої категорій належать лишайники, які живуть лише в природних ландшафтах (ліси, болота, далеко від населених пунктів) та в районах, де слабкий рівень ведення сільського господарства (ліси, луки поблизу населених пунктів);
- До четвертої, п'ятої та шостої категорій входять лишайники, які більш-менш поширені в середньо-окультурених ландшафтах (поселення, містечка, парки та кладовища на околицях великих міст).
- До сьомої, восьмої, дев'ятої та десятої категорій потрапили ті типи лишайників, які зростають у висококультурних районах (великих та середніх містах).

Буває, що оточення допомагає лишайникам вижити. Так, ті колонії, у яких більше поживних речовин, виживають краще. На краю міського даху було виявлено купу лишайників, було багато пташиного посліду та гниючих гілок старих дерев. Не менш важливим є головний напрямок вітру в районі, який несе шкідливі гази та пил.

3.2. Видовий склад епіфітних лишайників на території аеропорту

В ході моніторингових досліджень було визначено найбільш поширені види в зоні аеропорту та вираховано відсоток покриття лишайниками дерев на кожній ділянці.

До найбільш поширених видів лишайників, по всій території аеропорту «Київ», належать деякі види накипних та листуватих лишайники, а саме: *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Lecanora allophana*, *Flavoparmelia caperata* та інші (рис 3.4).



Рис. 3.4. Видовий склад лишайників на одній із досліджуваних ділянок поблизу аеропорту

На досліджуваних територіях не було виявлено кущистих видів лишайників. Оскільки вони є надто чутливими до складу повітря і не можуть існувати в умовах забруднення. Тому, це уже доводить наявність атмосферного забруднення в зоні аеропорту.

За допомогою існуючих масштабів рівень забруднення досліджуваної території визначається на основі існування ідентифікованих місцевих видів одягу. Зокрема, була використана шкала полеотолерантності для епіфітних лишайників (табл. 3.1), розроблена Х. Трассом, експертом у галузі спостережень за лишайниками, яка показує стійкість певних видів до умов життя в містах та районах із високим навантаженням антропогенної діяльності.

Класи полеотолерантності епіфітних лишайників за Х. Трассом [32]

Клас полеотолерантності	Тип місцезнаходження лишайників і їх зустрічаємість	Назва виду
I	Природні, без відчутного антропогенного впливу	<i>Lecanactis abietina</i> , <i>Lobaria scrobiculata</i> та найбільш чутливі види роду <i>Usnea</i> .
II	Природні (часто) і слабо антропогенно змінні (рідко)	<i>Bryoria chalybeiformis</i> , <i>Evernia divaricata</i> , <i>Cyalecta ulmi</i> , <i>Lecanora coilocarpa</i> .
III	Природні (часто) і слабо антропогенно змінні (рідко)	<i>Bryoria fuscescens</i> , <i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Hypogymnia tubulosa</i> .
IV	Природні (часто) і слабо (часто) помірно антропогенно змінні (рідко)	<i>Bryoria implexa</i> , <i>Cetraria pinastri</i> , <i>Opergrapha diaphora</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> .
V	Природні і слабо помірно антропогенно змінні з рівномірною зустрічальністю	<i>Caloplaca pyracea</i> , <i>Lecania cyrtella</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>Lecidea glomerulosa</i> , <i>Parmelia exasprata</i> .
VI	Природні (порівняно рідко) і помірно антропогенно змінні (частково)	<i>Arthonia radiata</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> , <i>Evernia prunastri</i> .
VII	Помірно (часто) і сильно (рідко) антропогенно змінні	<i>Lecanora varia</i> , <i>Parmelia onspurcata</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Flavoparmelia caperata</i> .
VIII	Помірно і сильно антропогенно змінні (з рівномірною зустрічальністю)	<i>Lecanora allophana</i> , <i>Caloplaca cerina</i> , <i>Physconia grisea</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> .
IX	Сильно антропогенно змінні (часто)	<i>Buellia punctata</i> , <i>Lecanora expallens</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i>
X	Дуже сильно антропогенно змінні (з рівномірною зустрічальністю і низька життєздатність видів)	<i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>L. hageni</i> , <i>Lepraria incana</i> , <i>Scoliosporim chlorococcum</i>

Представлена шкала включає поділ на десять класів. До перших трьох категорій належать об'єкти, які можуть жити лише в природних ландшафтах, таких як ліси, болота та місця, віддалені від населених пунктів, а також у слабо оброблених районах. Категорії 4-6 включають види, які відносно часто зустрічаються в ландшафтах із помірно людською діяльністю, невеликих населених пунктах, містечках, парках та кладовищах. Останні чотири категорії включають ті лишайники, які зазвичай зустрічаються у високорозвинених і мінливих регіонах, великих та середніх містах з значним ступенем техногенного впливу.

В ході аналізу даних таблиці, визначено, що види лишайників, що найбільше зустрічались нами в зоні впливу аеропорту «Київ», належать до 7-9 класів полеотолерантності. А саме: *Parmelia sulcata* та *Flavoparmelia caperata* відносяться до VII класу полеотолерантності; *Hypogymnia physodes* та *Lecanora allophana* – до VIII класу полеотолерантності та вид *Xanthoria parietina*, що відноситься до IX класу. Отримані результати дали змогу оцінити рівень антропогенного перетворення ландшафтів на території, які, згідно з таблицею (див табл. 3.1), зазнали переважно, помірних та сильних антропогенних змін.

3.3. Висновки до розділу

Отже, було проаналізовано основні екологічні особливості лишайників, які мають визначальну роль під час проведення досліджень. До основних таких особливостей відносять індивідуальну здатність кожного виду лишайників до існування в певних умовах та здатність реагувати на вміст забруднюючих речовин. Також, їх здатність реагувати на забруднення залежить від виду, тобто накипні види є найменш чутливими до забруднень, листуваті – помірно чутливими та кущисті – найбільш чутливі до будь-яких забруднень.

В розділі наведено результати застосування одного з методів ліхеноіндикації на території аеропорту «Київ», а саме аналізу переважаючого видового складу лишайників на території аеропорту, який було визначено в процесі проведення спостережень.

Встановлено, що до найбільш поширених видів належать: *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Lecanora allophana*, *Flavoparmelia caperata* та інші.

На основі цього, було визначено рівень забруднення досліджуваного району, через наявність в ньому ідентифікованих видів лишайників, за допомогою таблиці класів палеотолерантності лишайників. Вона визначає ступінь антропогенного перетворення ландшафтів, шляхом наявності на досліджуваних територіях, певних видів лишайників. В результаті, встановлено, що за ідентифікованим переважним видовим складом, зона аеропорту отримала відносно інтенсивних антропогенних перетворень.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІХЕНОФЛОРИ ЯК ІНДИКАТОРА СТАНУ ПОВІТРЯ АЕРОПОРТУ ТА ПРИЛЕГЛИХ ДО НЬОГО ТЕРИТОРІЙ

4.1. Спостереження за пригніченням росту епіфітних лишайників в зоні аеропорту

В умовах активного техногенного впливу, лишайникові організми здатні активно реагувати на забруднення з боку певного об'єкту. Їх реакції можуть проявлятися у зникненні певних видів лишайників, пригніченням їх стану та росту, зменшенням площі, яку вони займають, тощо [45-46].

Для оцінки проективного покриття дерев лишайниками, нами було проведено моніторингові дослідження на території аеропорту «Київ». Було обрано 5 ділянок на різній відстані від джерела впливу, а саме: 20, 500, 1000, 1500 та 2000 м від аеропорту (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Ділянки проведення досліджень на карті території МА «Київ»

На кожній із 5 досліджуваних ділянок, було оглянуто приблизно по 10 дерев. Спостереження за лишайниками проводили з двох сторін дерева на висоті 1,5-2 м від нижньої поверхні. Прикладавши рамку до дерева, рахували кількість повних і неповних квадратів, зайнятих лишайниками. Приклад досліджень стовбура дерева на відстані 500 і 2000 м від аеропорту представлені на рис. 4.2, 4.3 відповідно.

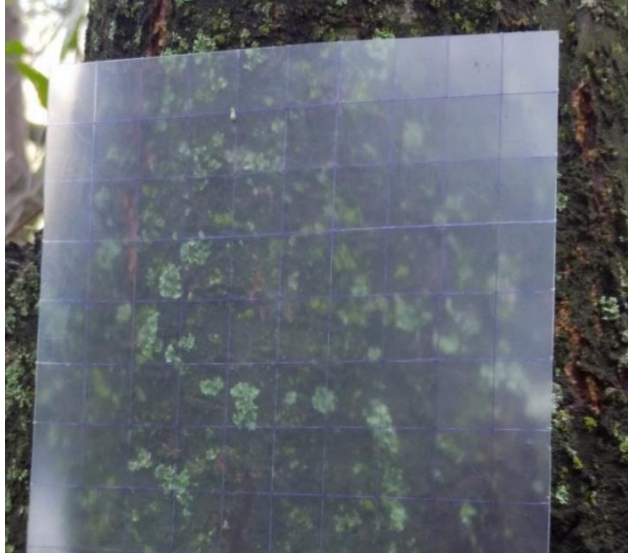


Рис. 4.2. Встановлення відсотку покриття лишайниками стовбура дерева на відстані 500 м



Рис. 4.3. Встановлення відсотку покриття лишайниками стовбура дерева на відстані 2000 м

Ступінь проективного покриття лишайниками стовбура дерев у відсотках, для кожного дерева, вираховувався за формулою: $(\text{Число цілих квадратів}) + (\text{Число нецілих квадратів} / 2)$. Середнє значення відсотку лишайникового покриття для кожної ділянки, в зоні аеропорту, представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати визначення покриття лишайниками дерев в зоні аеропорту «Київ»

Відстань від аеропорту, м	Середня кількість цілих квадратів на стовбурах дерев	Середня кількість нецілих квадратів на стовбурах дерев	Середнє значення ступеня покриття стовбура дерева, %
20	0	11	5,5
500	0	27	13,5
1000	4	38	23,0
1500	10	45	32,5
2000	16	55	43,5
Контроль	39	54	66,0

Проаналізувавши отримані значення та порівнявши їх з контрольним, було зроблено висновок, що з наближенням до аеропорту, спостерігається збільшення техногенного впливу на атмосферне повітря, адже середнє значення проективного покриття значно зменшується. Зміна покриття лишайниками пропорційна зміні відстані від джерела забруднення. Іншими словами, чим далі знаходилась територія дослідження, тим більше лишайників спостерігалось на деревах (рис. 4.3).

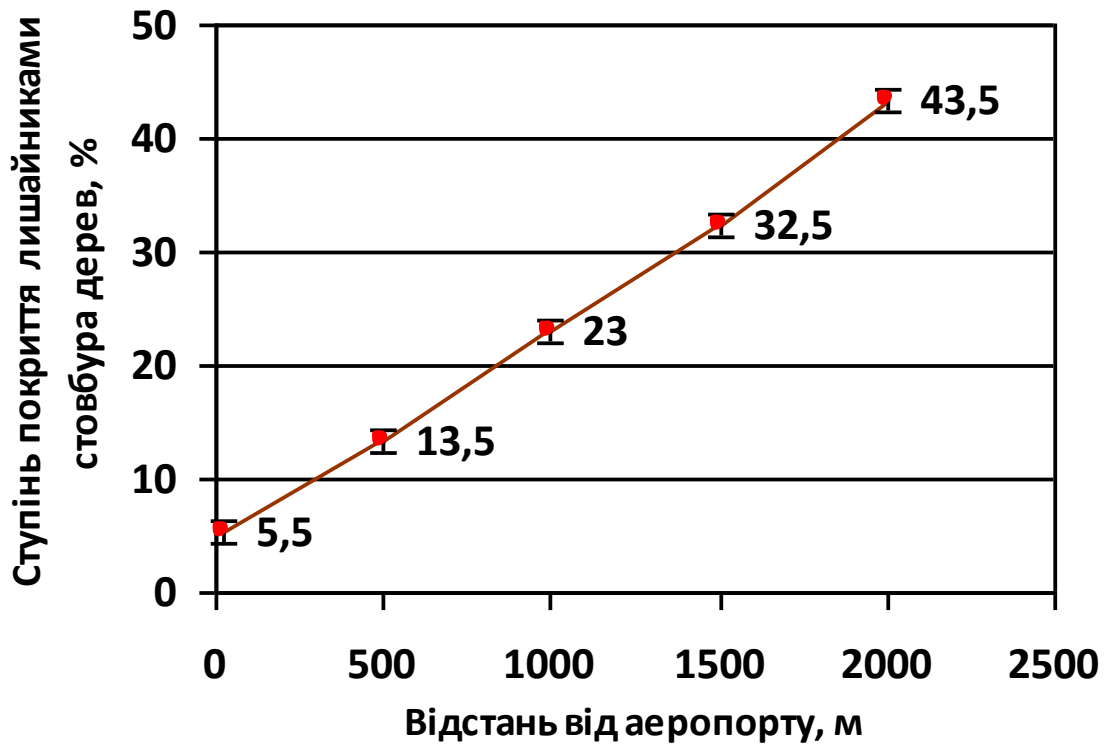


Рис. 4.3. Зміни ступеня покриття лишайниками стовбурів дерев з віддаленням від джерела забруднення

4.2. Оцінка стану атмосферного повітря на досліджуваних територіях

Згідно з методикою, оцінка стану атмосферного повітря здійснюється шляхом порівняння отриманих даних проєктивного покриття кори дерева лишайниками на досліджуваних ділянках з шкалою складеної відомим ліхенологом Х. Трассом (див табл. 2.1), відсоток проєктивного покриття лишайників, визначає ступінь забруднення, що зазнає певна територія. Дана шкала визначає, що чим більший показник покриття лишайників, тим чистіше повітря на досліджуваних ділянках, і, відповідно, чим менший відсоток, тим гіршої якості атмосферне повітря.

Результати порівняння отриманих даних, про відсотки покриття лишайниками дерев на дослідних ділянках поблизу аеропорту «Київ», з шкалою для визначення ступеня забруднення атмосферного повітря «Київ» представлені в табл. 4.2.

Оцінка ступеня забруднення атмосферного повітря поблизу аеропорту методом ліхеноіндикації

Відстань від аеропорту, м	Середнє значення ступеня покриття стовбура дерева, %	Зона забруднення, покриття лишайниками дерев (%)	Ступінь забруднення
20	5,5	I зона, < 5 %	Дуже сильне забруднення
500	13,5	II зона, < 5 %	Дуже сильне забруднення
1000	23,0	III зона, < 20 %	Середнє забруднення
1500	32,5	IV зона, < 30 %	Відносне забруднення
2000	43,5	IV зона, < 30 %	Відносне забруднення

Отже, визначено що на ділянках, відстанню від 20 до 500 м від аеропорту в визначається дуже сильне забруднення, на відстані 1000 м – середнє забруднення. Території, розташовані на відстані 1500 та 2000 м належать до зон відносного забруднення повітря. Отримані результати показують значний ступінь впливу МА «Київ» на якість атмосферного повітря, насамперед в зоні, що максимально наближена до нього. Це зумовлено осадженням забруднюючих речовин, в процесі злітно посадкового циклу літака, на прилеглих до аеропорту територіях.

4.3. Визначення швидкості осадження забруднюючих речовин на поверхні лишайників

Також на досліджуваних ділянках, біля аеропорту, були проведені дослідження аерозолі, який представляє собою дисперсну систему, в якій дисперсним (суцільним) є газ, зокрема повітря, а дисперсною фазою – тверді або рідкі частинки, що утворилися при згоранні авіаційних палив на територіях, прилеглих до аеропорту.

При цьому визначався кількісний хімічний склад аерозолей, який утворився при згоранні авіапалив та потрапив на зразки лишайників, що досліджувались [46]. Як показали дослідження, інтервал дисперсності аерозольних часток дуже широкий: від 10^{-7} до 1 мм. Нижня межа визначається можливістю тривалого самостійного існування досить малих частинок, а верхня межа обмежена тим, що включають частки як дисперсного, так і конденсаційного походження, зазвичай ультрамікроскопічного розміру. До аерозолей відносять пил, тумани і дими.

В нашому досліджувалися дими, що утворюються при згоранні авіапалива. Основними газовими забруднювачами атмосферного повітря, поблизу аеродромів є різні хімічні сполуки вуглецю, сірки, водню, тощо. Тому, усі процеси вилучення з повітря зважених частинок аерозолію включають дві операції: осадження частинок на сухі, або змочені поверхні лишайників та видалення і аналіз осадків з поверхонь цього осадження [47,48]. При цьому процес аналізу фізичного та хімічного складу аерозолей та умов їх осадження складається з наступного:

- відділення зважених часток від зважувального середовища;
- визначення умов осадження у гравітаційному полі;
- визначення умов осадження під дією сил інерції.

Осадження під дією гравітаційних сил відбувається і за різної кривизни траєкторії руху вихідних газів авіадвигунів, вектор швидкості руху якого, спрямований горизонтально. Інерційне осадження часток аерозолію відбувається шляхом різкої зміни напрямку вектору швидкості руху викидів газів авіадвигунів.

Закони, що визначають рух частинок аерозолей у спокійному повітрі, або закони обтікання їх повітрям, залежать від розмірів частинок. При цьому аеродинамічний опір частинки аерозолію вихідних газів авіадвигунів діаметром d , що рухається зі швидкістю W_c , відносно повітря щільністю P_c описуються формулою [49]:

$$F = \xi \frac{\pi d^2}{4} P_c \frac{W_c}{2}, \quad (4.1)$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору ξ залежить від числа Рейнольдса Re . При русі з малими швидкостями, коли літак знаходиться на злітній смузі, при рулінні, двигуни працюють на малих обертах, частки аерозолі мають великі розміри $0 < Re < 1$, $\xi = 24/Re$, динамічний опір визначається за формулою Стокса:

$$F = 3\pi\mu_c d_r W_c, \quad (4.2)$$

В тому випадку, коли досліджується рух, що характеризується невеликими значеннями Re (при зльоті та посадці літака), визначення коефіцієнту аеродинамічного опору проводиться за формулою Клячко:

$$\xi = \frac{24}{Re} + \frac{24}{\sqrt[3]{Re}}, \quad (4.3)$$

В інтервалі $3 < Re < 400$, формула (3) дає відхилення від дійсних значень не більше 2%, при $Re = 1000$, похибка становить близько 4%.

Формули (4.1), (4.2), (4.3) характеризують рух частинок аерозолі у горизонтальному потенційному потоці. При обтіканні сфери аерозолі криволінійними потоками, симетричність ліній порушується і проявляється вплив ряду нових факторів, а саме вітру.

При цьому частинка аерозолі зустрічає опір середовища, який може бути визначений:

$$F_o = \xi_r S_r W_r \rho_r / 2, \quad (4.4)$$

Де ξ_r – аеродинамічний коефіцієнт опору; S_r – проекція поперечного перерізу частинки на напрямок руху m^2 ; W_r – швидкість частинки, m/s ; ρ_r – щільність середовища kg/m^3 .

Коефіцієнт опору частинки ξ залежить від числа Re :

$$Re_r = W_r d_r \rho_r / \mu_c, \quad (4.5)$$

Де d_r – діаметр частинки, mm ; μ_c – динамічна в'язкість вітру, $Pa \cdot s$.

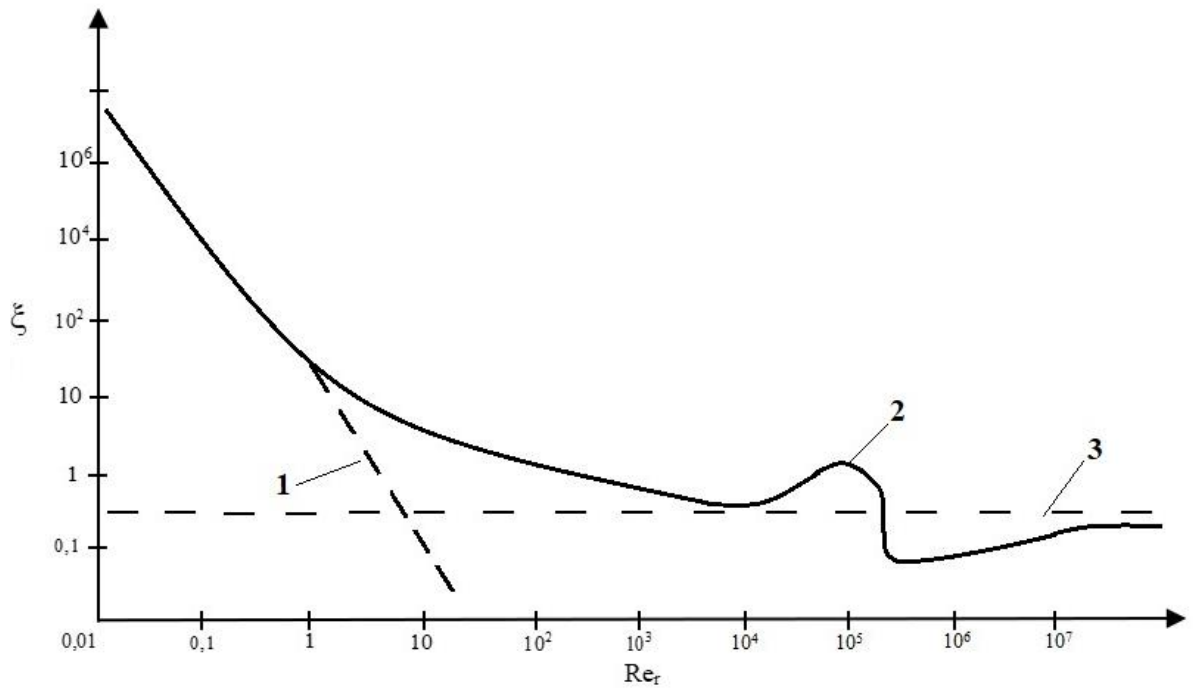


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта лобового опору кульової частинки ξ від критерію Re_r : 1 – область дії закону Стокса; 2 – стандартна крива; 3 – область дії формули Ньютона

Графік, що представлений на Рис. 1 складається з трьох частин. При значенні $5 \cdot 10^2 < Re_r < 5 \cdot 10^5$ опір характеризується в області розвиненої турбулентності законом Ньютона. На цій ділянці коефіцієнт опору щодо числа Рейнольдса становить $\xi = 0,44$. При $Re_r < 1$ сила опору визначається законом Стокса. Залежність ξ_r від Re_r визначається прямою ділянкою у логарифмічних координатах [49].

Прийнявши значення $\xi_r = 24/Re_r$, для випадку ламінарного руху в області $Re_r < 2$, підставимо значення у формулу Ньютона (4):

$$F_o = (24/Re_r)(\pi d_r^2/4)(W_r \rho_c/2) = 24\mu_c \pi D_r^2 W_r^2 \rho_c / 8W_r d_r \rho_r \quad (4.6)$$

Отримаємо:

$$F_c = 3\pi\mu_c d_r W_r, \quad (4.7)$$

Ця формула виражає закон Стокса: силу опору, яку отримує тверде кульове тіло при повільному русі у необмеженому в'язкому середовищі, вона прямо пропорційна швидкості поступального руху, діаметру тіла ϵ в'язкості атмосфери.

Якщо розглядається рух не шароподібної частинки аерозолі, у розрахункових формулах значення ξ_r множать на динамічний коефіцієнт форми χ , тобто замість d_r вводять d_e – еквівалентний діаметр частинки, що дорівнює діаметру кулі: кулясті – 1, округленої з не рівною поверхнею – 2,4, довгастої – 3, пластинчастої – 5, для змішаних часток тіл – 2,9 за формулою:

$$\chi = d_e^r / d_r^3, \quad (4.8)$$

В області дії закону Стокса, швидкість осадження кульової частинки на лишайнику дорівнює:

$$W_r = \frac{d_r^2 \rho_r}{18\mu c} g \tau_\rho, \quad (4.9)$$

де ρ_r – щільність частинки кг/м^3 ; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; $\tau_\rho = d_r^2 / 18\mu c$ – час релаксації частинки в лишайнику (с).

2.4. Висновки до розділу

В розділі, наведено результати здійснених нами досліджень ліхенофлори на відстані 20, 500, 1000, 1500 та 2000 м від аеропорту, а саме оцінки рівня пригнічення росту епіфітних лишайників з віддаленням та наближенням до джерела забруднення. Представлені середні значення відсотку покриття лишайниками стовбура дерев на кожній з ділянок. На підставі аналізу отриманих результатів встановлено, що показник ступеня покриття лишайників зменшується з наближенням до джерела забруднення і збільшується з віддаленням від нього, що свідчить про значне осадження забруднюючих речовин аеропорту на прилеглих, до нього, територіях та вплив на живі організми.

Також, отримані результати було порівняно з шкалою для визначення ступеня забруднення методом ліхеноіндикації та встановлено, що на відстані від 20 до 500 метрів спостерігається дуже сильне забруднення, на відстані 1000 м – середнє забруднення, а території відстанню 1500 та 2000 метрів вважаються зонами відносно чистого повітря.

Окремо, було встановлено, що при визначенні рівня хімічного забруднення атмосферного повітря в зоні аеропорту біологічними методами, важливим є визначення стану лишайників від забруднення частинками аерозолі, що утворюються та осідають при згоранні авіаційного палива різного типу. Як показали проведені дослідження, стан лишайників залежить від різних факторів, що впливають на розповсюдження аерозолі а саме: рози вітрів поблизу аеропорту, умов осадження частинок аерозолі, під впливом гравітаційного поля та сил інерції, на поверхні лишайників, сили вітру, який впливає на відстань розповсюдження забруднення. Наведена методика визначення аеродинамічних характеристик розповсюдження аерозолей, що утворюються при згоранні авіапалив, дає можливість, визначати площі ураження та забруднення прилеглих до аеропорту територій та екосистем.

ВИСНОВКИ

1. Отже, було проаналізовано існуючі біологічні методи оцінки стану атмосферного повітря, до яких належать методи біоіндикації та біотестування. Визначено, що для проведення оцінки стану навколишнього середовища на територіях з підвищеним техногенним навантаженням найбільш ефективними, серед біологічних методів, є методи біоіндикації, що являють собою оцінку стану НПС шляхом спостереження за живими об'єктами в середовищі їх існування. Зокрема, найбільш поширеним, саме під час дослідження атмосферного повітря є метод ліхеноіндикації, в якому індикаторами атмосферного забруднення виступають лишайники. Також, було встановлено переваги біологічних методів над фізико-хімічними, до яких належать невеликі економічні витрати, висока точність, можливість оцінити реакцію живих організмів на вплив забруднюючих речовин та здатність реагувати на найменші зміни в середовищі свого існування.

2. В ході аналізу можливості застосування ліхеноіндикаційних методів для оцінки стану атмосферного повітря поблизу аеропорту, було встановлено, що лишайники є відмінними індикаторами речовин, які надходять в атмосферу під час злітно-посадкового циклу літака. Також, вони не мають необхідних пристосувальних властивостей, які могли запобігти надходженню цих речовин до їх організму, тому забруднюючі речовини постійно накопичуються в тілі лишайників. Отже, метод ліхеноіндикації може бути успішно використаний для визначення ступеня атмосферного забруднення аеропортами.

3. Встановлено основні джерела забруднення атмосферного повітря, до яких належать самі літаки та прописана до них наземна спецтехніка по їх обслуговуванню. До основних хімічних речовин, що надходять в атмосферу внаслідок роботи авіаційних суден і спричиняють її забруднення відносяться: оксиди сірки, азоту та вуглецю, різноманітні вуглеводні, альдегіди й сажа. Всі ці речовини, безперервно та в значних кількостях викидаються в атмосферне повітря двигунами літака.

4. Встановлено, що основними екологічними особливостями лишайників є індивідуальні властивості до існування в визначених умовах, певних груп лишайників. А чутливість їх до забруднення залежить від виду, накипні види є найменш чутливими до забруднень, листоваті – помірно чутливими та куцисті – найбільш чутливі до будь-яких забруднень. Також, під час проведення досліджень стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації, було проаналізовано видовий склад лишайників зони аеропорту «Київ» та визначено, що до найбільш поширених видів належать: *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Lecanora allophana*, *Flavoparmelia caperata* та інші. На основі цього, визначено рівень забруднення досліджуваного району, за допомогою таблиці класів палеотолерантності лишайників. Вона визначає ступінь антропогенного перетворення ландшафтів, шляхом наявності на досліджуваних територіях, певних видів лишайників. В результаті, встановлено, що за виявленим видовим складом, зона аеропорту отримала відносно інтенсивних антропогенних перетворень.

5. В результаті проведених нами досліджень, на 5 дослідних ділянках, відстанню 20, 500, 1000, 1500 та 2000 метрів від аеропорту, було здійснено загальну оцінку рівня пригнічення росту епіфітних лишайників з віддаленням та наближенням до джерела забруднення. На досліджуваних ділянках було розраховано відсоток покриття лишайниками стовбура дерев. На підставі аналізу отриманих результатів встановлено, що показник ступеня покриття лишайників зменшується з наближенням до джерела забруднення і збільшується з віддаленням від нього. Також, отримані результати було порівняно з шкалою для визначення ступеня забруднення методом ліхеноіндикації та встановлено, що на відстані від 20 до 500 метрів спостерігається дуже сильне забруднення, на відстані 1000 м – середнє забруднення, а території відстанню 1500 та 2000 метрів вважаються зонами відносно чистого повітря. Отримані результати спостережень за лишайниками, в зоні аеропорту «Київ», дали чітку інформацію про стан атмосферного повітря на прилеглих територіях, яка показує сильний ступінь забруднення токсичними речовинами зони, що оточує аеропорт.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. Кременчук. Видавництво ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.
2. Притула Н.М. Біоіндикація : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 141 с.
3. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / А. І. Горова та ін. Дніпро: Національний гірничий університет, 2014. 76 с.
4. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. 2-е изд. Спб.: изд-во С.-Петербур. ун-та. 2016. 300 с.
5. Франчук Г. М., Кіпніс Л. С., Маджд С.М. Загоруй Я. В. Екологічна оцінка стану довкілля в зоні аеропорту методами біотестування. Вісн. НАУ. 2006. № 2. С. 114–117.
6. Толоконникова П.М. Малышкин Н.Г. Биоиндикация состояния атмосферного воздуха с помощью лишайников. ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья». 2019. С.196-201
7. Мамчур З. І. Біоіндикація забруднення повітря у місті Львові та на його околицях. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2005. Вип. 40. С. 59–67
8. Гапон Ю. В., Контдратюк С. Я., Гапон С. В. Порівняння екологічного стану міст за допомогою мохоподібних. Біологія та екологія : наук. журн. Полтав. нац. пед. ун-т імені В. Г. Короленка. Полтава. 2019. Т. 5, № 1. С. 64-70.
9. Гапон Ю. В. Біоіндикаційний метод дослідження забруднення атмосфери як один з напрямів біоіндикаційного моніторингу. Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Полтава: Астроя. 2011. С. 176-178.

10. Ловелиус Н.В., Ерегина С.В. Дендроиндикация в географических и экологических исследованиях. Учебно-методическое пособие. СПб. Вологда: Вологодская областная универсальная научная библиотека. 2017. 131 с.

11. Процак Ю. О. Переваги застосування методів біоіндикації стану атмосферного повітря поблизу аеропортів. Інноваційні технології. Матеріали наук.-техн. конф. студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених / за заг. ред. Бабікової К. О., Мельничук Л. М. ІНТЛ НАУ (м. Київ, 20-21 листоп. 2019 р.). Київ, 2019. С. 79-81.

12. Франчук Г. М., Антонов А. М., Маджд С. М., Рахімбердіна Н. В. Моніторинг стану атмосферного повітря зони аеропорту на підставі результатів досліджень атмосферних опадів. Вісник НАУ. 2005. № 3. С. 164–167.

13. Процак Ю. О. Переваги та недоліки оцінки хімічного забруднення атмосфери в зоні впливу аеропортів. Екологічна безпека держави: тези доповідей XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів / редкол. О.І. Запорожець та ін. (м. Київ, 18 квітня 2019 р.), Київ.: НАУ, 2019. – С. 25.

14. Франчук Г.М., Дехтяренко О.М., Костюк Я.В. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря в зоні аеропорту. Наукоємні технології. 2013. № 1. С. 111-114.

15. Walker T. R., Pystina T. N. The use of lichens to monitor terrestrial pollution and ecological impacts caused by oil and gas industries in the Pechora Basin, NW Russia. *Herzogia* 19. 2006. P. 229–238.

16. Маджд С. М. Франчук Г.М., Михарєвська Т.В. Аналіз ґрунтів в зоні аеропорту Київ. Вісн. НАУ. 2007. № 3–4. С. 133–137.

17. Маджд С. М., Франчук Г.М. Акумуляція важких металів у рослинних асоціаціях на територіях, прилеглих до авіаремонтних та експлуатаційних підприємств. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2009. Вип. 3. С. 76–82.

18. Франчук Г. М., Маджд С.М. Оцінка забруднення атмосферного повітря важкими металами в зоні діяльності авіапідприємств. Охорона навколишнього

середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України : зб. наук. праць III Всеукр. наук.-практ. конф. Запоріжжя. ТОВ “Фінвей”. 2007. С. 14–17.

19. Казакова Л.С. Огневая Н. И. Лихеноиндикация как один из видов экологического мониторинга загрязнения воздуха. Сборник материалов научно-практической конференции «Заповедное дело, биоразнообразие, экообразование» / сост. Э.Р. Зиннатова, О.В. Семенова, Д.В. Шубин. Нижний Тагил: МАУ ДО ГорСЮН, 2020. 117 с

20. Франчук Г. М., Антонов А. М., Маджд С. М., Загоруй Я. В. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля. Вісник НАУ. 2006. №1. С. 184-190.

21. Маджд С. М., Костюк Я. В., Франчук Г. М. Дослідження стану атмосферного повітря в зоні експлуатації авіаційної техніки методом ліхеноіндикації. Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр. 2010. Вип. 6. С. 34-38.

22. Франчук Г. М., Маджд С.М., Кіпніс Л.С. Методика оцінки хімічного забруднення атмосферного повітря на основі аналізу стану атмосферних опадів в зоні аеропорту. Наука і молодь : зб. наук. праць. 2003. С. 254–257.

23. Ісаєнко В.М., Маджд С.М., Фролов В.Б., Дмитруха Т.І. Удосконалення способу контролю стану атмосферного повітря. Вісник Кременчуцького національного університету. 2019. №6 (119). С. 43–48.

24. Транспортна екологія: навчальний посібник / [О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва та ін.]. – Київ: «Центр учбової літератури», 2017. – 508 с.

25. Запорожець, О., Загурська, Л., Синило, К. Оцінювання забруднення атмосферного повітря на території та за межами аеропорту. Вісник Національного Авіаційного Університету. 2008. № 36(3), С. 121–125.

26. Проблеми забруднення атмосферного повітря при експлуатації аеропортів цивільної авіації: брошура / О. Запорожець та ін. / за ред. К. Синило, НЕЦУ. Київ, 2018. 20 с.

27. Офіційний сайт аеропорту «Київ» (Жуляни) URL: [//iev.aero/](http://iev.aero/). (дата звернення 14.04.2021).

28. Злітно-посадкову смугу міжнародного аеропорту «Київ» імені І. Сікорського реконструюють до 2025 року. 2021. URL: <https://iev.aero/press-centre/news/521> (дата звернення 20.04.2021).

29. Економічне оцінювання можливості впровадження біоіндикаційного моніторингу атмосферного повітря (на прикладі Луцька). URL: http://www.kdu.edu.ua/Documents/KSNR_economica_2018/w9.pdf (дата звернення 05.04.2021).

30. Андрейко Г.П. Методи біоіндикації навколишнього середовища. Методичний посібник для практичних занять і самостійної роботи. Методичний посібник для проведення курсу «Учбової практики» ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. 30 с.

31. Шершова Н. В. Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря у смт Гостомель Київської області. Український ботанічний журнал. - 2017. - Т. 74, № 2. С. 148-153 .

32. Кондратюк С.Я., Мартиненко В.Г., Ліхеноіндикація: навчальний посібник. Київ-Кіровоград. ТОВ «КОД». 2006. 260 с.

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

34. Блинова, Э.А. Инновации лишеноиндикации в мониторинге воздухоохранной деятельности / Э.А. Блинова, Е.С. Иванов, В.В. Черная // Сборник трудов первого международного экологического форума в Рязани «Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов». – Рязань: Издательство: РГАТУ им. П.А. Костычева, 2017. – С.13-19.

35. Заболотня Н. А. Епіфітні лишайники як біоіндикатори стану атмосферного повітря (на прикладі малих міст України: Переяслава та Канева). Сучасні досягнення природничих наук : матеріали Всеукр. студ. наук.-практ. конф. Полтава, 2020. С. 83-86.

36. Окснер А.Н. Определитель лишайников. Морфология, систематика и географическое распространение лишайников / А.Н. Окснер. – 1974. – 245 с.

37. Трасс Х. Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 122–137.
38. Корбут М. Б., Мальований М. С., Мельник З. Є. Визначення рівня забруднення повітря в зоні впливу звалища твердих побутових відходів Житомира за допомогою ліхеноіндикації. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2013. Випуск 6 (83). С. 130-134.
39. Conti. M.E. Lichens as bioindicators of air pollution. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering. 2008. URL: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781845640026/9781845640026005FU1.pdf> (Last accessed: 10.05.2021).
40. James D. Lawrey. A Lichen Biomonitoring Program to Protect Resources in the National Capital Region by Detecting Air Quality Effects. Natural Resource Report. 2011. P.64.
41. Саросек, В. Г. Лихеноиндикация – как метод оценки состояния атмосферы. Актуальные проблемы медицины : сборник материалов итоговой научно-практической конференции, 24 января 2020 г. / Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Учреждение образования "Гродненский государственный медицинский университет". Гродно. 2020. – С. 636-640.
42. Air Quality and Lichens. URL: <http://www.air-quality.org.uk/19.php>. (дата звернення 26.05.2021)
43. Lichens as Indicators of Vehicle Pollution. Grade 12. New York. 2007. URL: <https://www.amnh.org/learn-teach/curriculum-collections/young-naturalist-awards/winning-essays/2007/lichens-as-indicators-of-vehicle-pollution>. (Last accessed: 07.05.2021).
44. Димитрова Л.В. Ліхеноіндикація забруднення атмосферного повітря м. Києва. Український ботанічний журнал. 2008. Т. 65. № 4. С. 572-585.
45. Сатуева, Л. Л. Атмосферные загрязнители и их влияние на эпифитные лишайники урбанизированной среды. Биоэкономика и экобиополитика. 2016. № 1 (2). С. 222-245.

46. Ісаєнко В.М., Маджд С.М., Процак Ю.О. Застосування методу ліхеноіндикації для дослідження стану атмосферного повітря на територіях прилеглих до аеропорту. Вісник Кременчуцького національного університету. 2020. №2 (121). С. 66–72.

47. Применение информационных технологий для решения задач экологического мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов / [С.М. Дзюба, Н.В.Белянина, М.Н. Прокопенко, С.А. Серовиков] // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – 2010. – № 21. – С. 58-65.

48. Радловська К.О. Моніторинг, моделювання та прогнозування стану довкілля / К.О. Радловська // Екологічна безпека та збалансоване 32 ресурсокористування. Науково-технічний журнал. – Ів.-Фр.: Симфонія Форте. 2015. № 1 (11). С.127-140.

49. Зацеркляний М.М. Столевич Т.Б., Зацеркляний О.М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник. Одеса. Фенікс. 2017. 453 с.