

Міністерство освіти і науки України
Рівненський державний гуманітарний університет
Кафедра природничих наук з методиками навчання

Кваліфікаційна робота
за освітнім ступенем «магістр»
на тему:

**ЛІХЕНОІНДИКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
ПОВІТРЯ МІСТА РІВНЕ ТА МІСЦЕ ТЕМИ В ІНТЕГРОВАНОМУ
КУРСІ «ПРИРОДНИЧІ НАУКИ»**

Виконала:

магістрантка 2 курсу, гр. МСПН-61
психолого-природничого факультету
спеціальності 014 «Середня освіта
(Природничі науки)», заочна
форма навчання

Чупринська Анна Олегівна

Науковий керівник:

кандидат географічних наук,
професор кафедри природничих
наук з методиками навчання

Мельник Віра Йосипівна

Рівне – 2023

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему «Ліхеноіндикація екологічного стану повітря міста Рівне та місце теми в інтегрованому курсі «Природничі науки »» викладена на 67 сторінках і містить вступ, три розділи, висновки, список використаної літератури. При написанні роботи було опрацьовано 67 наукових та науково-методичних джерела. При оформленні роботи використано 18 таблиць та 13 рисунків.

Кваліфікаційна (магістерська) робота розкриває питання дослідження стану атмосферного повітря в м.Рівне методом ліхеноіндикації.

Перший розділ роботи дає інформацію про історію становлення біоіндикації і місце в ній ліхеноіндикації, знайомить нас з особливостями будови лишайників, розглядає питання забруднення атмосферного повітря.

Другий розділ наводить основні методики оцінки стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації.

В третьому розділі наведені результати ліхеноіндикаційного дослідження стану атмосферного повітря м.Рівне та місце теми в курсі «Природничі науки».

В західній частині міста досліджувана територія бідна на лишайники. Найпоширенішими є накипні лишайники роду Леканора і незначна кількість листуватих лишайників Ксанторія та Пармелія. Найбільш забрудненими територіями є досліджувані ділянки №1 і №2, де проективне покриття лишайниками становить 8 і 12% відповідно. На території школи №23 визначена перехідна зона розвитку лишайників з проективним покриттям в 36%. Екологічний стан середовища «задовільний», клас якості атмосферного повітря III. Фонова ділянка з проективним покриттям 52% і «добрим» станом середовища проживання та сприятливою зоною розвитку лишайників. Забруднення атмосферного повітря в межах II класу, екологічний стан «добрий».

Виконання дослідницької роботи сприяло зацікавленості учнів до предмету «Природничі науки» і підвищився рівень якісної успішності учнів з 50% до 87,5%, що на 37,5% вище, ніж до проведення експерименту.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 4 |
| РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ | |
| 1.1. Історія становлення методів біоіндикації | 8 |
| 1.2. Поняття ліхеноіндикації | 14 |
| 1.2.1. Особливості будови лишайників | 16 |
| 1.3. Забруднювачі та забруднюючі речовини повітря | 24 |
| 1.3.1. Сучасний стан атмосферного повітря м. Рівне | 29 |
| 1.4. Біоіндикаційні дослідження стану атмосферного повітря | 34 |
| РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ | |
| 2.1. Природно-кліматичні особливості території міста Рівне | 38 |
| 2.2. Методики оцінки екологічного стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації | 39 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА РІВНЕ | |
| 3.1. Вплив забрудненого атмосферного повітря на стан лишайників | 46 |
| 3.2. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря в м. Рівне методом ліхеноіндикації | 48 |
| 3.3. Місце теми «Ліхеноіндикація» в інтегрованому курсі «Природничі науки» | 54 |
| ВИСНОВКИ | 59 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 61 |

ВСТУП.

Актуальність теми дослідження. При стрімкому поширенні впливу природних та антропогенних факторів на оточуюче нас навколишнє середовище ще гостріше виступає проблема як збереження екосистем, так і збереження рівноваги в природі. Проведення оцінки стану довкілля є нагальним питанням. Зауважимо, що в останній час зростає інтерес до того, в якому середовищі ми перебуваємо, яким повітрям дихаємо, як визначити чистоту повітря, адже все це впливає на наше здоров'я [1, 14, 17, 41, 48, 50]. Стан атмосферного повітря викликає занепокоєність і громадських організацій, медиків і жителів кожного регіону.

За даними ВООЗ саме забруднення атмосферного повітря є основною причиною збільшення захворюваності, де Україна за цим показником кілька років поспіль займає лідируючі позиції.

Вплив основних чинників на забруднення атмосферного повітря в місті Рівне відображені в публікаціях М.О. Клименко, В.Й. Мельник, В.М.Стернік.

Сьогодні рекомендує велику кількість різноманітних методів оцінки екологічного стану атмосферного повітря. Інструментальні методи не дають змоги повноцінно оцінити реакцію живих організмів на антропогенний вплив, є складними та вартісними, потребують добре оснащених лабораторій тощо. Дослідження різноманіття екосистеми неможливе із-за його масштабності.

Використання ж біологічних методів в оцінці стану атмосферного повітря в урбоекосистемах дають змогу показати і якість повітря, і стан середовища проживання людини. Найбільш дієвим та найінформативнішим методом, що забезпечує оцінку стану атмосферного повітря за результатами дослідження і спостереження за ліхенофлорою є метод ліхеноіндикації, який доповнює, а іноді і замінює фізико-хімічні методи дослідження [6, 16, 33, 59].

Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря базується на структурно-функціональних особливостях та процесах життєдіяльності лишайників, які реагують на забруднення атмосферного повітря. За допомогою цього методу можна спостерігати і динаміку забруднення повітря, так як тривалий вплив

навіть незначних концентрацій забруднюючих речовин, викликає пошкодження лишайників, яке не зникає аж до його відмирання [44]. На відміну від вищих судинних рослин, в яких тканини регенеруються порівняно швидко, тіло лишайника відновлюється дуже повільно. Це зумовлено тим, що в лишайників відсутні органи, які вилучають вологу із субстрату, а поглинають поживні речовини з повітря, в тому числі і токсичні, всім тілом.

Лишайники стійкі до перепаду температур, відсутності води, тривалості вегетаційного періоду, для них характерний широкий діапазон розповсюдження і довга тривалість життя. Будова лишайників і процеси їх життєдіяльності дають можливість реагувати на різні забруднення. Лишайники особливо вразливі до низьких рівнів забруднення атмосферного повітря.

На основі вищевказаного визначення екологічного стану атмосферного повітря на досліджуваній території є актуальним, а тема «Ліхеноіндикація» в інтегрованому курсі «Природничі науки» дасть можливість розвивати компетенції природничого напрямку.

Мета і завдання кваліфікаційної (магістерської) роботи.

Метою дослідження є: з'ясувати видовий склад лишайників на окремих ділянках території Рівне та оцінити екологічний стан атмосферного повітря методом ліхеноіндикації.

Для досягнення мети ми запропонували такі **завдання**:

1. Провести аналіз наукової та методичної літератури по досліджуваній темі.
2. З'ясувати джерела забруднення та забруднюючі речовини атмосферного повітря в м. Рівне.
3. Визначити видовий склад ліхенофлори на досліджуваній території.
4. Оцінити ступінь антропогенного впливу на ліхенофлору в умовах постійного впливу забруднюючих речовин.
5. Визначити екологічний стан атмосферного повітря досліджуваних ділянок в м. Рівне.

б. Порівняти видовий склад ліхенофлори на ділянках з різним ступенем забруднення.

Об'єкт дослідження: ліхенофлора як індикатор стану атмосферного повітря.

Предмет дослідження: оцінка екологічного стану атмосферного повітря в м. Рівне за допомогою епіфітних лишайників.

Методи дослідження. Були використані теоретичні (аналіз літературних джерел та отриманих даних, узагальнення, порівняння) та емпіричні (спостереження, польові дослідження).

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Продовжено дослідження по визначенню видового складу ліхенофлори та екологічного стану атмосферного повітря на території міста Рівне. Результати досліджень можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо покращення екологічної ситуації до програми стратегії стійкого розвитку м. Рівне. Матеріали наших досліджень можна використовувати на уроках біології, заняттях у гуртках для формування компетентностей природничого напрямку.

Особистий внесок магістранта. Автором розроблена програма досліджень, проаналізовані наукові та методичні джерела по темі дослідження і проведений аналіз можливості застосування біологічних методів оцінки стану атмосферного повітря, проведені польові, лабораторні і статистичні дослідження згідно обраних методик. На основі аналізу отриманих даних сформульовано висновок про екологічний стан атмосферного повітря на досліджуваних територіях в м. Рівне.

Апробація отриманих результатів. Результати досліджень апробовані на II Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та здобувачів освіти «Шлях в науку: Перші кроки», яка відбулася 06 квітня 2023 р., м. Тернопіль.

Публікації. За результатами дослідження опубліковані наукові тези в Матеріалах II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та здобувачів освіти на тему «Вивчення забруднення атмосферного

повітря методом ліхеноіндикації в інтегрованому курсі «Природничі науки».

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна (магістерська) робота включає вступ, 3 розділи, висновки та перелік джерел літератури. Робота викладена на 67 сторінках, проілюстрована 18 таблицями і 13 рисунками, фотоматеріалами. Список використаної літератури містить 67 джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ

1.1. Історія становлення методів біоіндикації

Біоіндикація має довгу історію. Перші біологічні спостереження були зроблені стародавніми вченими, які зосереджувалися на зв'язку між морфологією рослин та умовами їх зростання. Так, Теофраст (327-287рр. до н. е.) описав у книзі «Природа рослин», як за природою рослин можна визначити властивості землі. Подібні відомості містяться в працях Римського Катона та Плінія Старшого. Так, у працях Катона Старшого (234-149 рр. до н. е.) існує думка, що густина травостою перед оранкою може допомогти вибрати ділянки, придатні для посіву насіння. Твори римського вченого і письменника Плінія Старшого (23 або 24-79) містять застереження щодо надто спрощеного погляду на зв'язок між ґрунтом і рослинністю. Він пише, що високі дерева, або соковита трава і висока трава не завжди є ознакою родючості землі.

У 1 столітті н.е. до н.е. римський письменник і агроном Ю. Колумелла розвинув ідею біоіндикації через рослини - він міг вимірювати властивості ґрунту через листя, трави, або плоди і знав, які культури найкраще ростуть на цьому ґрунті. Цей напрямок отримав назву візуальної біоіндикації, і сьогодні успішно використовується в практичних цілях.

У 1866 році француз Ньюландер запропонував поняття для лишайників і назвав їх «санітарними лічильниками», він один з перших звернув увагу на їх зникнення у місцях, в яких при освітленні вулиць міста використовували спеціальний вид палива. Це явище визнали інші науковці того часу і назвали його явище «ефектом міста». На початку воно асоціювалось з сажею з вугілля, пізніше як отруйною речовиною виявили сірчаний ангідрид. Лехіноіндикативна зона вперше виявлена у місті Стокгольм в 20-х роках на основі вивчення епіфітних лишайників Сарнардером [65].

Були виділені наступні зони: зона «лишайникових пустель», в яких лишайників майже немає, «конкурентна зона», де присутня мала кількість

видів лишайників і «нормальна зона». У Великій Британії 15 тис. школярів були залучені для вивчення розповсюдження лишайників з метою створення карти узагальненої оцінки стану атмосфери [65]. Однак, через брак знань про вимірювання та розрахунки рівнів забруднення, дослідження ліхеноіндикації не проводили аж до 1960-х років.

У 1968 році вчені розробили першу біоіндикаційну шкалу, згідно якої дані дослідження рівнів угруповань лишайників дозволили визначити рівень забруднення повітря населених пунктів SO₂.

Засновником індикаторного методу вважається американський ботанік Ф. Клементс, який у 1920 р. у праці «Сукцесії рослин та індикатори» зазначив, що кожна рослина або група рослин є найкращим показником умов, у яких вона росте. Проте в кінці минулого століття В.В. Докучаєв вважав, що всі елементи природи взаємопов'язані і що один з них може судити про всі інші.

Піонером біології рослин, оцінки властивостей ґрунту і підґрунтя за особливостями росту рослин і структурою рослинного покриву, безсумнівно, є А.П. Карпінського, робота якого, опублікована в 1841 році і присвячена асоціації рослин з різними каменями, використовується досі.

В основі біоіндикації лежить взаємозв'язок і взаємозалежність усіх явищ природи. Це приклад застосування ідей В. В. Докучаєва, що усі елементи умов зовнішнього середовища мають зв'язок був вирішенням практичних завдань. В. В. Докучаєв (1883, 1893) розвивав вчення про ґрунт, як особливе природно-історичне утворення. В.В. Докучаєв (1898) «Закон безперервності зв'язків між ґрунтом і рослинними організмами, що ростуть на ній, як у часі, так і в просторі». Тісний зв'язок між ґрунтом, геологічними породами і рослинами описаний в роботі П.А. Костичева (1890). Приклади практичного використання ґрунтових індикаторів наводять Ф.І. Рупечт (1866).

У цьому контексті одним із перших напрямків у біологічних індикаторах стала індикаторна геоботаніка. Серед теоретичних робіт з біоіндикації першою найбільш фундаментальною і видатною була робота Ф. Клементса (Clement, 1920), яка є основою теорії рослинної індикації.

Великий інтерес представляють роботи по використанню рослин як індикаторів клімату; «Типи лісу»; «Рівень ґрунтових вод». Ідеї В.І. Вернадського (1926, 1934), А.П. Виноградов (1952, 1954) продемонстрували можливості використання рослин і рослинних угруповань для діагностики мінеральних індикаторів. Постійний аналіз екологічного стану земель та оцінка їх по рослинному покриву є в роботі Л.Г. Раменського (1938, 1941), В.І. Ларіна (1953).

Для покращення охорони навколишнього середовища та розробки біоіндикаторних рекомендацій у моніторингу стану природних ресурсів на XXI Генеральній асамблеї Міжнародного союзу біологічних наук (Оттава, 1982 р.) розроблено програму «Біоіндикатори». Основні орієнтири діяльності (об'єкти, завдання, організація, методи) створені академіком АН УНР Н. Шаланки, який і був розробником програми. Основні програмні пункти: якість методів дослідження, вирішення регіональних і національних проблем; формування мережі експертів з методів біоіндикації; розширення біоіндикаційних досліджень у моніторингу довкілля. Постійно проводилися міжнародні зустрічі з біоіндикації антропогенного забруднення (Індія, 1984; Канада, 1985; СРСР, 1989 та ін.).

Окрім цього, приблизно в той самий час у різних країнах були запропоновані різні індекси показників, а саме: «Індекс чистоти повітря» (Де Слувер та Ле Блан, Канада), «Індекс толерантності» (Е.Трасс, Естонія). В Європейських країнах також починають вивчення впливу на тіло лишайників різних забруднюючих речовин і використання біоіндикаційних методів [57, 61, 64].

Перевагою методів ліхеноіндикації є економічна доцільність (дешеві методи), оперативність виконання і оцінки навколишнього середовища. Сьогодні існує багато літературних даних щодо напрацювань з цих питань, за останні три десятиліття випущений спеціальний збірник, присвячений вивченню лишайників при забрудненому атмосферному повітрі. Збільшилась

кількість публікацій, опубліковано ряд монографій про лишайники України, авторами яких є: Маревич, 1982; Копачевська 1986; Байрак, 1988; Кондратюк, 1998, 2003; Ходосовцев, 1999 та інші [31, 37, 51, 62].

Перші наукові ліхеноіндикаційні дослідження були проведені у місті Львові, пізніше проводилися ще в кількох містах: Харкові, Луцьку, Івано-Франківську, Рівному, Тернополі, Херсоні, Чернігові та ін.

За допомогою спостережень за рослинами люди досить давно почали задовольняти не лише свої нагальні життєві потреби, а і застосовувати в багатьох наукових дослідженнях. Разом з анатомією, фізіологією досліджувалась і екологія рослин.

Наукові дослідження у питаннях поширення рослин привело до висновків, що кожен з цих видів росте і розвивається в певних екологічних умовах. Люди почали задавати питання, яким чином фітоіндикація може охарактеризувати ті чи інші екологічні умови? Саме така зацікавленість поступово почали переростати у створення нового напрямку з розвитку дисципліни, яка би реально висвітлювала вплив умов навколишнього середовища на рослини. В науковому вигляді фітоіндикація почала свій розвиток разом з давно відомими предметами, такими як геологія, географія, ґрунтознавство, ботаніка тощо. Затребувані біоіндикаційні методи при використанні природних ресурсів стимулювали розвиток досліджень у сфері біоіндикації.

В становленні і розвитку фітоіндикації Я. П. Дідух та П. Г. Плюта виділяють три періоди [22]. Для **першого періоду**, який тривав впродовж ХІХ століття характерно зародження перших наукових засад у понятті екологія видів. Спочатку ними почав займатись А. Гумбольдт, він зміг виділити основні закономірності, які зв'язали поняття рослинний покрив і найосновніші екологічні чинники. Саме А. Гумбольдтцом були закладені основи геоботаніки.

Його роботи продовжив Л. Пост (Post, 1862) та А. Гризебах (Grisebach, 1880), якими було запропоновано класифікацію угруповань рослин і показано

тісні зв'язки між рослинними угрупованнями і ґрунтовим екологічним середовищем. Поділ угруповань на гідрофіти, мезофіти та ксерофіти були запропоновані О. Вармінгом в 1896 році.

Впродовж всього століття різними науковцями було розроблено безліч класифікацій рослинності, умов їх зростання, видів, життєвих форм тощо. Досліджувались зв'язки між навколишнім середовищем і зміною рослинного покриву, тобто закладена ідея індикації. Всі наукові напрацювання були спрямовані на вирішення багатьох проблем, проте напрям фітоіндикаційних досліджень на даний час був ще невизначений.

Другий період розвитку біоіндикації був ознаменований розвитком ґрунтознавства, ландшафтознавства, геоботаніки. Чільне місце в дослідженнях належить вченому Ж. Браун-Бланке, який започаткував в дослідженнях ідею переходу від індикації екологічних факторів до індикації екологічних систем. Було запропоновано ряд досліджень, які направлені на оцінку ценозів, побудову різних шкал екологічної оцінки тощо. Емпіричні дослідження випереджали на багато років теоретичний розвиток синфітоіндикації, формувалися наукові школи з фітоіндикації. Основоположником теорії і практичних розробок методів синфітоіндикації являється Л.Г.Раменський.

Після 60-х років і до наших днів триває третій період розвитку фітоіндикаційних досліджень, де фітоіндикація виділена в окремий науковий напрям. Розробляються і вдосконалюються нові методи досліджень і оцінки рослинного світу, вивчається динаміка процесів і закономірностей їх розвитку, що відбуваються в навколишньому середовищі, модернізуються методи досліджень тощо.

В сучасному розумінні біоіндикація – це оцінка стану навколишнього середовища за допомогою живих організмів. Всі методи біоіндикації ґрунтуються на дослідженнях життя, росту і розмноження організмів-індикаторів під впливом навколишнього середовища. Для значущості

індикаторів в екологічних дослідженнях мають значення дві величини: спряженість і зустрічність індикатора, що виражається у вигляді індексу і вимірюється у відсотках.

Структура сучасної біоіндикації представлена на рис.1.



Рис.1. Структура сучасної індикації

Окремі організми та їх угруповання формують довкілля і реагують на його зміни. Будь-яке порушення умов існування індикаторів призводить до змін в його структурах, де причиною цих змін виступають як забруднюючі речовини, так і абіотичні фактори.

Методи біоіндикації є методом виявлення антропогенного навантаження, не потребують спеціальної фахової підготовки, так як прості у

використанні і мають наступні переваги перед інструментальними методами досліджень:

- біоіндикатори мають високу чутливість навіть до дуже слабких антропогенних змін в довкіллі, які не можна виявити фізико-хімічними методами;
- методи характеризуються універсальністю при вирішенні різних завдань;
- рівень забруднення можна оцінити обмеженим числом показників;
- реагують на швидкість змін в довкіллі та швидкість досягнення результату;
- дають змогу виявляти ретроспективні, разові і прогнозовані впливи на довкілля;
- фіксують комплексні зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі;
- мало затратні в економічному плані.
- використовуються для вимірювання сумарного ефекту зовнішнього впливу;
- виявляють вплив на довкілля на ранніх стадіях;
- вказують на місця локації забруднень;
- допомагають нормувати антропогенне навантаження на екосистеми.

Класифікація методів індикації залежить від:

- рівня організації живих організмів;
- від угруповань організмів-індикаторів, що досліджуються;
- від середовища, в якому проводиться дослідження.

1.2. Поняття ліхеноіндикації

Ще в другій половині XIX століття французький вчений звернув увагу, що лишайники зникають в тих місцях, де інтенсивно використовується певний вид палива, який і впливає на ріст і розвиток лишайників. Уже на початку XX століття (1920 рік) при дослідженнях у Стокгольмі були виділені три зони, які представляли лишайники. Це «нормальна зона», «зона змагання», де відмічався бідний видовий склад лишайників, а їх життєздатність була зниженою та зона «лишайникової пустелі», в якій реєстрували одиничні види, або взагалі їх відсутність. Вивчення лишайників проводили і в Великобританії,

де була створена перша карта комплексної оцінки стану атмосферного повітря. Проте, відсутність методик і шкал оцінки рівня забруднення атмосфери ліхеноіндикаційні дослідження не мали наукового підґрунтя і не впроваджувались до 1960 року. Лише в 1968 році була запроваджена перша шкала оцінки стану атмосферного повітря, за якою було можливо визначати рівні забруднення повітря сірчаним ангідридом. Почався бум в дослідженнях стану атмосферного повітря, запроваджувалися індекси «чистоти повітря», «поле толерантності» та інші. В європейських країнах почалися дослідження з трансплантації окремих видів лишайників на забруднені території для вивчення впливу забруднення на талом лишайника.

Ліхеноіндикація – це оцінювання стану навколишнього природного середовища різними видами лишайників [8, 9, 18, 32, 43]. Лишайники вважаються піонерами серед рослинного світу, так як появились на планеті Земля понад 100млн. років тому. Це своєрідна група невибагливих до умов, повільно ростучих рослин. Тіло лишайника (слань, або талом) складається з гриба (мікобіонта) і водорості, або ціанобактерії, які мають симбіотичні зв'язки, де гриб використовує водорості для своєї життєдіяльності. Лишайник поверхнею тіла вбирає вологу з атмосферного повітря. Водорість забезпечує гриб вуглеводами (глюкозою тощо) і віддає водний розчин солей. Тривала еволюція такого співіснування привела до того, що гриб втратив властивість існувати самостійно, а грибні гіфи перетворились на аморфне скупчення.

Відомо, що по всій земній кулі поширено понад 25000 видів лишайників, які поширені і в тропіках, і в холодних регіонах суходолу. Найвища чисельність лишайників зафіксована в помірних широтах. Лишайники ростуть на стовбурах дерев, скалах, камінні, ґрунті тощо. Умовою їх місця зростання є нерухомість об'єкта. Вивчає лишайники наука ліхенологія.

Швидкість проведення дослідження, його дешевизна дають змогу провести оцінювання екологічної ситуації. На даний час літературні джерела надають багато інформації щодо використання ліхеноіндикації при вивченні стану чистоти атмосферного повітря. Публікуються окремі посібники з

біоіндикаційних методів, які, в основному посилаються на іншу спеціалізовану літературу.

Забрудненість атмосферного повітря методом ліхеноіндикації вперше в Україні було проведено в місті Львові, пізніше в Харкові, Луцьку, Івано-Франківську, Рівне, Тернопіль та інших містах [13, 35, 42, 46, 58].

1.2.1. Особливості будови лишайників

Лишайники з'явилися на планеті Земля дуже давно, саме тому їх можна назвати рослинами – піонерами. Ці рослини не є вибагливими, але і водночас вони дуже повільно ростуть. Наприклад, Північна кладонія, росте не більше 2 мм, ризокарпон географічний – 0.25-1мм, Умбілікарія циліндрична – 0.004мм, Кладонія – 2-7 мм [8, 25, 40. 63].

Лишайники (Lichenes) – є групою організмів нижчих рослин, що живуть в симбіозі гриба і водорості, рис.2.



Рис.2. Будова лишайника

Їх взаємодія часто є взаємовигідною (мутуалізм), в деяких випадках гриб може використовувати водорості (контрольований паразитизм). Зауважимо, що основна маса слані належить грибу, який гіфами переплетений клітинами водорості, які належать до автотрофних рослин, що містять хлорофіл. Водорості синтезують органічні речовини, якими живиться гриб і забезпечує водою і мінеральними речовинами водорість. Гриб має ще одну функцію – це захист водорості від сильного освітлення і нагрівання сонячними променями та висихання. Проте, лишайник не розглядається як звичайне поєднання організмів з своїми властивостями. Це новий організм, який має свої властивості і функції в світі рослин.

Слід замітити, що під час процесу еволюції лишайників, гриб майже повністю втрачає здатність на окреме існування. У випадку ізоляції від лишайників грибний гіф утворює аморфне скупчення. Ця пара організмів буквально годує та напуває один одного. Лишайник за допомогою своєї поверхні всмоктує в себе атмосферну вологу, яка містить у собі розчинені мінеральні солі, а гриб відповідно отримує вуглеводи. Це і є вигідне співжиття, або складна форма паразитизму [37].

Вегетативне тіло лишайника називають сланню або таломом. При контакті з повітрям і атмосферними опадами вони отримують всі компоненти для росту і життя. У лишайників нема спеціальних пристосувань для запобігання попадання у їх тіло токсичних речовин. Саме тому, останні швидко вбираються лишайниками і постійно накопичуються [37]. Ріст лишайників проходить досить повільно, за один рік приріст досягає лише 2-5 мм, але поширені вони в багатьох місцях нашої планети - від Крайньої Півночі до спекотливої пустелі. Лишайники можна зустріти на землі, на деревах, на скелях і у воді. Саме тому наука ліхеноіндикація дає можливість без шкоди для природи якісно оцінити чистоту, або ж забруднення навколишнього середовища [36].

Організм лишайників живиться процесами фотосинтезу в клітині водорості. Ці процеси залежать від хімічних складників світла, температури та

вологості повітря. Саме ці процеси пояснюють реакції лишайників на забруднене повітря і наявність кислих оксидів у складі повітряних мас.

В залежності від місця проростання лишайники поділяються на такі екологічні групи:

- епіфітні (на корі дерев),
- епиксильні (на оголеній деревині);
- епігейні (на поверхні ґрунту),
- епілітні (на камінні чи на бетоні).

Лишайники, за допомогою яких визначають забруднення атмосферного повітря поділяються на такі групи :

- Сильно чутливі до забруднення атмосферного повітря. До них належать такі види кущистих лишайників: Евернія сливова, Рамаліна ясенева, Анаптіхія війкова. Серед листуватих найбільш чутливими є види: Пармелія дубова та блюдчата.

- Сильно- та середньочутливі лишайники: Гіпогімнія здута, Пармелія борозентаста, Фісція зірчаста.

- Стійкі до атмосферного забруднення. Це види: Леканора грабова, Ксанторія багатоплідна.

- Токситолерантні накипні види, які є індикаторами кислого забруднення середовища: Сколіціоспорум зелений, леканора Хагена і порошокниста. До четвертої групи можна віднести невелику кількість видів листуватих лишайників, а саме: Фісціят луската та зелена і Ксанторія настінна.

В багатьох випадках витривалість лишайників до забруднення атмосфери обумовлене впливом великої кількості різноманітних факторів. В якості прикладу слід відмітити, що мокрий талом лишайників буде більше чутливим до забруднення атмосферного повітря, ніж аналогічний, але вже менше зволожений .

Деколи ми не можемо знайти пояснення, в яких випадках лишайники опираються забрудненню в середині тіла самого лишайника. В цьому випадка

суттєву роль відіграє щільність кори, проникність клітин та певні лишайникові речовини, що миттєво можуть нейтралізувати відкладення кислотних речовин.

Враховуючи індивідуальні особливості лишайників, відомий ліхенолог Х.Трасс розробив шкалу для визначення рівнів забруднень деяких видів лишайників на певній ділянці. Шкала містить у собі наступні 10 категорій, в яких визначена стійкість окремих видів лишайників до умов існування в урбоекосистемах та адаптації до тих, чи інших антропогенних навантажень.

- Перша, друга та третя категорії включають види лишайників, що ростуть лише на території природних ландшафтів (ліс, болото, далеке розташування від населених пунктів) та в місцях, де слабо розвинутий рівень сільського господарства (ліс, луки біля населеного пункту).

- Четверта, п'ята, шоста категорії включають в себе види лишайників, що зростають в середньо окультурених ландшафтах (поселення, невелике місто, парк, кладовище на околиці великого міста тощо).

- Сьома, восьма, дев'ята та десята категорії включає види лишайників, що ростуть у високо окультурених районах (велике та середнє місто). Часто оточення дає змогу лишайникам вижити. Так, колонія, де є більша кількість поживних речовин, виживає краще. Суттєву роль відіграє і переважаючий напрямок вітру у районах, які є сильно загазованими.

З'ясовано, що перші 3 класи лишайників можуть проживати тільки в природних екосистемах, які знаходяться далеко від населених пунктів. Лишайники 4-6 класів зустрічаються на територіях з помірним антропогенним впливом, тобто в селах, невеликих містах, в парках тощо. Представники видів 7-10 класів зустрічаються на територіях, які зазнали сильного антропогенного впливу на навколишнє середовище [34] (табл.1).

Таблиця 1

Полеотолерантність епіфітних лишайників (за Х.Трассом)

| Клас полеотолерантності | Тип, місцезнаходження і зустрічність лишайників | Назва виду |
|-------------------------|---|------------|
|-------------------------|---|------------|

| | | |
|------|---|--|
| I | Природні, антропогенний вплив незначний | <i>Lecanactis abietina</i> , <i>Lobaria scrobiculata</i> та найбільш чутливі види роду <i>Usnea</i> |
| II | Часто природні і рідко змінені під антропогенним впливом | <i>Bryoria chalybeiformis</i> , <i>Evernia divaricata</i> , <i>Cyalecta ulmi</i> , <i>Lecanora coilocarpa</i> |
| III | Часто природні і рідко антропогенно змінені | <i>Bryoria fuscescens</i> , <i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Hypogymnia tubulosa</i> |
| IV | Часто природні і часто слабо помірно змінені | <i>Bryoria implexa</i> , <i>Cetraria pinastri</i> , <i>Opergrapha diaphora</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> |
| V | Природні і слабо помірно змінені, зустрічність лишайників рівномірна | <i>Caloplaca pyracea</i> , <i>Lecania cyrtella</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>Lecidea glomerulosa</i> , <i>Parmelia exasprata</i> |
| VI | Порівняно рідко природні і частково помірно антропогенно змінені | <i>Arthonia radiata</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> , <i>Evernia prunastri</i> |
| VII | Часто помірно і рідко сильно антропогенно змінені | <i>Lecanora varia</i> , <i>Parmelia onspurcata</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Flavoparmelia caperata</i> |
| VIII | Помірно і сильно змінені під антропогенним впливом, | <i>Lecanora allophana</i> , <i>Caloplaca cerina</i> , <i>Physconia grisea</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> |
| IX | Часто зазнали сильного антропогенного впливу | <i>Buellia punctata</i> , <i>Lecanora expallens</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i> |
| X | Рівномірна зустрічність з низькою життєздіяльністю видів лишайників при дуже сильному антропогенному впливі | <i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>L. hageni</i> , <i>Lepraria incana</i> , <i>Scoliosporim chlorococcum</i> |

За зовнішньою будовою лишайники поділяють на **накипні, листуваті та кущисті** [20, 66, 67].

Слань **накипного лишайника** являє собою кірку невеликого розміру від кількох міліметрів до декількох сантиметрів у діаметрі, яка зрослась з субстратом (корою дерева, деревиною, поверхнею каменів тощо). Цей тип лишайників щільно закріплюються налюбій поверхні у вигляді зернистого або схожого напилнальоту і їхтяжко відірвати віднеї, кірка може бути різноманітної форми і кольору. До накипних лишайників відносяться: *Lecanora*, *Нурогу́мнія* та інші, рис. 3-4.



Рис.3. Сіро-зелений накипний лишайник *Lecanora*



Рис.4. Гіпогімнія (*Hypogymnia physodes*)

Листуваті лишайники виглядають у формі луски або листоподібної пластини, розмір якої біля 10-20 см. Особливістю листуватих лишайників є наявність спеціального пристосування на нижній частині їх тіла (грибних ниток), за допомогою якого, лишайник прикріплюється до субстрату. Цей вид – це значна частина лишайників на стовбурах дерев міських парків, до яких відноситься Цетрарія, Ксанторія і Пармелія, рис. 5-6.



Рис.5. Листуватий лишайник **Ксанторія** (*Xanthoria parietina*)



Рис.6. Пармелія (*Parmelia sulcata*)

Кущисті лишайники є найвищою стадією розвитку таломів і росте у чистих, або відносно чистих територіях і швидко щезає при забрудненнях повітря. Слань кущистого лишайника має вигляд розгалуженої гілочки, або звисаючого куща (бороди). Якщо їх порівняти з першими двома групами лишайників, які ростуть горизонтально, то слід відмітити, що ця група лишайників має вертикальний напрямок росту. Вони не мають коріння, прикріплюються до кори дерев спеціальними пристосуваннями знизу. Видовий склад налічує Уснею, Ягель, який називають Кладонією, або «оленячим мохом» і є найбільш чутливими до забруднення атмосфери, рис.7.



Рис. 7. Кущистий лишайник «мох дубовий» *Уснея (Usnea filipendula)*

Найменш чутливими до забруднень атмосферного повітря є накипний вид лишайників [42]. Якщо ж на частині місцевості взагалі відсутня будь-яка група лишайників, то це може означати досить суттєвий вплив забруднення на стан атмосферного повітря.

1.3. Забруднювачі та забруднюючі речовини повітря

Атмосфера є найбільш вразливою оболонкою Землі. Атмосфера дуже гостро відображає зміни в решті підсистем біосфери. Кисень, що знаходиться у повітрі, в житті кожного живого організму відіграє основну роль, саме тому якість повітря істотно впливає на все живе.

Атмосферне повітря являє собою природне скупчення газів у приземному шарі атмосфери, яка утворилася в процесі еволюції планети Земля. Маса оболонки становить біля п'ять квадрильйонів тонн. Газова оболонка оберігає земну кулю від переохолодження та перегрівання, має захисну дію від шкідливого ультрафіолетового, рентгенівського випромінювання.

Основними складовими атмосферного повітря є: азот – 78,08%; кисень – 20,95%; діоксид карбону – 0,034%; аргон – 0,93%; решта – інертні гази.

Центральним компонентом у цій системі являється кисень. Основна частина кисню утворюється під час процесу фотосинтезу. Давно відомо, що рослинні організми впродовж одного лише року в товщу атмосфери виділяють біля семидесяти мільярдів тон кисню. З них 80% усього кисню постачається морським [фітопланктоном](#), 20% виробляють наземні рослини.

Нестача кисню в атмосферних шарах може формуватися за рахунок двох процесів, що тісно пов'язані між собою – з однієї сторони, на протязі історичного періоду п'ятнадцять останніх років площі лісів зменшилися з 6,2 млрд. га до 4,2 млрд. га, що сильно визначило кількість кисню в атмосфері та з другої сторони процесу утилізації продуктів людського споживання.

На висоті 400-600 кілометрів ще зберігається киснево-азотний склад атмосфери. Складові повітря істотно починають змінюватись на висоті більше 600 кілометрів. На цій висоті у складі повітря в основному знаходиться гелій. В.І.Вернадський назвав цей шар «Гелієвою короною Землі, і сягає він 1600 км над земною поверхнею, у наступних 2-3 тисячах кілометрів в основному містить у складі водень.

З другої сторони, людство прогресує у масштабах своєї діяльності, використовує природні ресурси, що накопичувала біосфера впродовж мільйонів років. В атмосферному повітрі збільшується відсоток вмісту діоксиду карбону. З'ясовано, що в результаті діяльності людей, кожного року в атмосферне повітря поступає 14 мільярдів тон діоксиду карбону, проте знижується вміст кисню. Виникає дисбаланс між вмістом кисню і діоксидом карбону, який супроводжується кліматичними змінами.

Українським законодавством прийнято ряд законодавчих та нормативних актів, що регулюють питання відносин стосовно атмосферного повітря. Так, прийнятий закон «Про атмосферне повітря», «Закон про охорону навколишнього природного середовища» тощо. Дані законодавчі акти спрямовані на збереження атмосферного повітря, не порушуючи основні

умови життя людини та на одночасне підтримання її безпечної життєдіяльності.

Під охороною атмосфери розуміють низку заходів, які будуть направлені на недопущення його забруднення та відновлення стану атмосфери, а також регулювання процесів впливу на атмосферне повітря усіма можливими способами зниження й забруднення .

Основними джерелами забруднення атмосфери антропогенного характеру є промислові викиди у повітря, концентрація яких перевищує гранично-допустимі норми, вихлопні гази під час руху автотранспорту. До природних забруднень можна віднести пилові бурі, забруднення внаслідок лісових пожеж, вивержень вулканів, розкладання живих організмів тощо.

Усі забруднюючі речовини атмосферного повітря прийнято поділяти на тверді, рідкі і газоподібні. Основна кількість речовин, що викидаються в атмосферу знаходяться в газоподібному стані і становлять 90% всієї маси викидів. Слід відмітити, що на різних ділянках буде різна інтенсивність забруднення повітря. Наприклад, в містах, де розташовані заводи і фабрики, атмосферне повітря буде набагато більше забруднене. Кожного року на нашій планеті спалюється біля 10 млрд. тон органічного палива, спалюються і рудні і нерудні матеріали в кількості понад 2 млрд.тон. Так, під час спалювання вугілля в атмосферу надходить біля 120 млн.т завислих речовин (попелу). Приблизні підрахунки свідчать, що за 100 років у повітря потрапили такі забруднюючі речовини: арсен – 1,5 млн. т; нікель – 1 млн. т; оксид карбону 900 тис.т; цинку і міді по 600 тис.т.

Хімічна промисловість теж суттєво впливає на навколишнє середовище. Найбільшу небезпеку для повітря несуть сульфатні сполуки, оксиди та діоксиди азоту, хлор тощо. Усі речовини вступають в реакцію, внаслідок чого утворюються більш токсичні сполуки. Тумани у безвітряну погоду при високому забрудненні повітря утворюють фотохімічний смог. Чорна металургія теж являється важливим джерелом забруднення атмосфери. Підприємства викидають у повітря пил, кіптяву, сажу, важкі метали (свинець,

кадмій, ртуть, мідь, нікель, цинк, хром). Найгостріше стає питання забруднення атмосфери свинцем.

Збільшення транспортних засобів становить левову долю забруднень атмосферного повітря. Усі компоненти вихлопних газів згубно впливають на людський організм, а оксид азоту є складником формування смогу. Ще одне джерело забруднення – це пил гуми від покришок автомобілів. Так, один транспортний засіб продукує біля 10 кг пилу з гуми, що містить токсичну речовину кадмій.

Найбільшою загрозою для планети становить забруднення атмосферного повітря ізотопами радіоактивних речовин. Уперше світ з цим ознайомився у 1945 році під час атомного бомбардування у японських містах Хіросіма та Нагасакі, потім Чорнобильська катастрофа у 1986 році, в даний момент великою загрозою для світу є бажання країни-агресора Росії використати атомну бомбу.

Основні наслідки забруднення атмосфери:

- підвищення температури на планеті Земля (парниковий ефект);
- потоншення озонового шару (озонова дірка);
- випадання кислотних опадів;
- зависання забруднюючих речовин при штилі (смог).

Джерела забруднення атмосфери можна поділити на:

- джерела, що виділяють шкідливі речовини;
- джерела, що роблять викиди шкідливих речовини.

Джерелами, що виділяють шкідливі речовини, можуть бути технологічні агрегати (установки, пристрої, апарати), терикони (штучно створені піраміди відходів у шахтах під час процесів виділення вугілля з породи), різні резервуари, котлоагрегати тощо.

Джерела, що здійснюють викиди шкідливих речовини у атмосферне повітря поділяються на стаціонарні і пересувні та організовані і неорганізовані.

Стаціонарне джерело викиду – це об'єкт, що не рухається і проводить викиди забруднюючих речовин в атмосферу (підприємство, установка тощо).

Якщо направлений потік відпрацьованого атмосферного повітря (пилогазоповітряна суміш) поступає через створені газоходи, димові труби, вентиляційні шахти, або інші споруди, то такий викид називається організованим джерелом. Організовані джерела мають спеціальні споруди для очищення від пилу, або газоповітряних сумішей.

Якщо ж викиди поступають ненаправленим потоком і відсутні спеціальні пристосування для відведення забрудненого повітря, то такі джерела називаються неорганізованими. У таких джерел забруднення можуть поступати через негерметичність обладнання, резервуару, або транспортного засобу.

Обліковуються усі забруднюючі речовини, що є у складі відпрацьованого повітря як стаціонарних, так і пересувних джерел забруднення.

Наслідки впливу забруднюючих речовин на атмосферне повітря:

- підвищена концентрація вуглекислого газу;
- поступання в атмосферу сполук сульфуру;
- надходження різних забруднюючих речовин (фреонів, сполук азоту, хлору, фтору тощо).

До основних джерел забруднення атмосфери належать теплові та енергетичні установки, підприємства металургійної та хімічної промисловості, сільськогосподарське виробництво, різні види транспортних засобів.

Статистичні дані формуються на звітах про охорону атмосферного повітря, в яких наявні дані про стаціонарні джерела забруднення, забруднюючі речовини, їх кількість, що викидається і уловлюється.

Основні показники річних звітів (форма 2 ТП«Повітря»):

- кількість забруднюючих речовин без очистки;
- кількість забруднюючих речовин, що надходять на пиле-, газоочисні

споруди;

- кількість забруднюючих речовин від стаціонарних джерел виділення;
- фактична кількість уловлених забруднень за рік;
- кількість речовин, що використані для виробничої продукції;
- зменшення, або збільшення валового викиду забруднюючих речовин.
- норми ГДВ і ТПВ підприємства тощо, рис. 8.



Рис.8. Основні показники забруднення атмосферного повітря

Україна являється країною з невисоким рівнем забруднення атмосферного повітря.

Використання технологічних процесів на застарілому і зношеному устаткуванні, низький рівень пилегазоочисного обладнання, принцип роботи якого не відповідає сучасним екологічним вимогам, є причиною забруднення атмосферного повітря.

Спостереження за рівнем забруднення компонентів екосистеми міста свідчать про те, що, незважаючи на спад виробництва, стан довкілля погіршується. Навіть при значному скороченні виробництва природоохоронні засоби не можуть справитися із зростаючим антропогенним навантаженням.

Кількість автотранспорту має стабільну тенденцію зростання, зростає і забруднення атмосферного повітря, так як переважна його більшість використовує паливе з вмістом свинцю і тільки 2,5% транспорту використовують газ. Відомо, що для роботи двигунів на бензині, дизелі, чи газі необхідне атмосферне повітря, що є паливом.

Зауважимо, що мережа автодоріг має неякісне покриття, що відображається на забрудненні біля 100м узбіччя автошляхів. Найбільшою проблемою міського транспортного комплексу є відсутність об'їзних доріг, перевантаженість вулиць внаслідок їх низької пропускної спроможності.

Поєднання викидів двох джерел забруднення (промисловості та автотранспорту) створює загрозливу ситуацію для міського середовища і для життя людини. Значна частина викидів осідає на узбіччі автошляхів, в санітарно-захисних зонах навколо промислових підприємств, забруднюючи ґрунти, а частина забруднень розсіюється [23].

1.3.1. Сучасний стан атмосферного повітря м. Рівне

Основними причинами забруднення атмосферного повітря є промислові і транспортні викиди забруднюючих речовин. Інформація про викиди забруднень від промислових джерел ґрунтується на даних статистичної звітності форми «2ТП-Повітря» (табл. 2).

Таблиця 2

Промислові викиди забруднюючих речовин в м.Рівне (форма 2ТП «Повітря»)

| № з/п | Галузь виробництва | Кількість підприємств, шт. | Викиди забруднюючих речовин по галузі | |
|-------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | | | т/рік | % від загального обсягу викиду |
| 1 | Хімічна промисловість | 1 | 6,7678 | 0,56 |

| | | | | |
|---------------|--|-----------|---------------|------------|
| 2 | Виробництво електричного та електронного устаткування | 6 | 33,06137 | 2,75 |
| 3 | Металургія та обробка металу | 7 | 0,14528 | 0,01 |
| 4 | Виробництво, експлуатація та ремонт машин і устаткування | 8 | 25,62747 | 2,13 |
| 5 | Текстильна промисловість | 6 | 26,0705 | 2,17 |
| 6 | Виробництво будматеріалів і конструкцій | 11 | 114,3999 | 9,5 |
| 7 | Харчова промисловість | 11 | 11,0 | 10,6 |
| 8 | Виробництво та розподіл енергоносіїв | 3 | 3,0 | 71,4 |
| 9 | Деревообробна промисловість | 7 | 7,0 | 0,9 |
| Всього | | 60 | 227,08 | 100 |

Моніторинг стану атмосферного повітря проводили: обласний гідрометеорологічний центр і лабораторія Рівненського центру МОЗ України, де задіяні три стаціонарні пости спостереження. Пост №1 розміщений в районі залізничного вокзалу (вул. Кіквідзе), пост №4 – в північному районі міста (вул. Грушевського) та пост №5, який розташований в західному районі міста (вул. Млинівська). Всі стаціонарні пости моніторингу мають пристрої для безперервного відбору проб атмосферного повітря та реєстрації вмісту забруднюючих речовин автоматичними газоаналізаторами. При необхідності дослідження проводяться в лабораторії.

Моніторинг проводився повною, неповною і скороченою програмами. За повною програмою дослідження проводяться щоденно автоматичним обладнанням, через рівні проміжки часу, але не менше чотирьох разів з обов'язковим відбором проб о 1, 7, 13, 19 годині. Інформація подається про разові і середньо-добові концентрації таких важких металів: мідь, нікель,

залізо, марганець, кадмій, свинець, хром, цинк і 11 основних забруднюючих речовин.

Рівень забруднення атмосферного повітря в м. Рівне визначений за значеннями індексів забруднення атмосфери (табл.3).

Таблиця 3

Динаміка забруднення атмосферного повітря м. Рівне
за значеннями ІЗА

| Рік | Значення ІЗА | Перелік забруднюючих речовин, які визначають високий рівень забруднення атмосфери |
|------|--------------|---|
| 2015 | 6,7 | Формальдегід, фенол, фтористий водень, діоксид нітрогену, оксид карбону |
| 2018 | 6,25 | Формальдегід, фенол, фтористий водень, діоксид нітрогену, оксид карбону |
| 2019 | 7,26 | Формальдегід, фенол, фтористий водень, діоксид нітрогену, пил |
| 2020 | 5,74 | Формальдегід, фенол, фтористий водень, діоксид нітрогену, пил |
| 2021 | 6,76 | Формальдегід, фтористий водень, діоксид нітрогену, фенол, оксид нітрогену |
| 2022 | 5,75 | Формальдегід, фтористий водень, діоксид нітрогену, фенол, оксид нітрогену |

Використання технологічних процесів на застарілому і зношеному устаткуванні, низький рівень пилогазоочисного обладнання, принцип роботи якого не відповідає сучасним екологічним вимогам, є причиною забруднення атмосферного повітря. Немаловажним є той факт, що на території міста знаходяться 30 котельнь, які викидають також забруднення. Деякі котельні перейшли на альтернативні види палива і значно збільшили викиди.

Статистичні дані 2022 року засвідчують, що в атмосферне міста від стаціонарних джерел викидів промисловості міста поступило 5,6 тис.тон забруднюючих речовин, що на 59,6% менше, ніж у 2021 році [23].

Динаміка забруднення атмосфери міста залежить від підвищення, або скорочення обсягів виробництва. Головною екологічною проблемою міста є

збільшення кількості власного автотранспорту, використання палива низької якості, технічно застарілі автомобілі, транзитний транспорт, незадовільний стан покриття доріг тощо.

У місті зареєстровано три види транспорту: автомобільний, залізничний та електротранспорт, які і зумовлюють забруднення атмосферного повітря.

Зауважимо, що дані щодо забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами з 2016 року не обліковуються і виключені із переліку статистичних спостережень. За багаторічними даними відомо, що в м. Рівне в атмосферне повітря поступало приблизно 11-12 тис.т забруднюючих речовин, а доля автотранспорту становила 75-80% від загального викиду.

На даний час атмосферне повітря Рівненщини є забрудненим, його рівень та динаміка забруднення представлена в (табл.4).

Таблиця 4

Динаміка валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

| Роки | Валові викиди в атмосферне повітря, тис.т | | | Щільність викиду у розрахунку на 1 км ² , кг | Обсяги викидів у розрахунку на 1 особу, кг |
|------|---|-------------------------|-----------------------|---|--|
| | Всього | у тому числі | | | |
| | | Стационарними джерелами | пересувними джерелами | | |
| 2000 | 49,7 | 14,1 | 35,6 | 2478,7 | 42,0 |
| 2005 | 57,7 | 17,3 | 40,4 | 2877,2 | 49,9 |
| 2010 | 56,2 | 12,9 | 43,3 | 2805,5 | 48,8 |
| 2015 | 52,2 | 10,2 | 42,0 | 2692,1 | 44,9 |
| 2016 | 47,4 | 9,1 | 38,3 | 454,2** | 7,8** |
| 2017 | 46,7 | 9,6 | 37,1 | 476,8** | 8,2** |
| 2018 | 44,1 | 9,1 | 35,0 | 455,4** | 7,9** |
| 2019 | 45,1 | 9,9 | 35,2 | 494,3** | 8,6** |
| 2020 | 39,5 | 10,1 | 29,4 | 506,1** | 8,8** |
| 2021 | 42,4 | 9,4 | 33,0 | 467,7** | 8,2** |

| | | | | | |
|------|---|-----|---|---------|-------|
| 2022 | * | 5,6 | * | 278,6** | 4,9** |
|------|---|-----|---|---------|-------|

** у 2016-2022 рр. дані наведені за результатами викидів тільки стаціонарних джерел забруднення.

Основні забруднюючі речовини міста Рівне, які негативно впливають на якість атмосферного повітря: діоксид карбону, сполуки сульфуру, сполуки нітрогену, хлору, фтору (табл.5), рис.9.

Таблиця 5

Динаміка викидів основних забруднюючих речовин в м.Рівне, тис.т/рік

| № з/п | Забруднюючі речовини | Роки досліджень | | | | | |
|-------|--------------------------------|-----------------|------|--------|--------|------|------|
| | | 2015 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | Всього викинуто, в тому числі: | 3,17 | 2,61 | 4,14 | 3,75 | 5,91 | 4,86 |
| 2 | Діоксид сульфуру | 0,09 | 0,11 | 0,0787 | 0,0693 | 0,72 | 0,43 |
| 3 | Діоксид нітрогену | 0,51 | 0,36 | 0,7335 | 0,8107 | 1,45 | 1,05 |
| 4 | Оксид карбону | 0,40 | 0,21 | 0,3883 | 0,4178 | 0,54 | 0,61 |
| 5 | Пил | 0,67 | 0,66 | 0,8148 | 0,7887 | 0,72 | 0,34 |

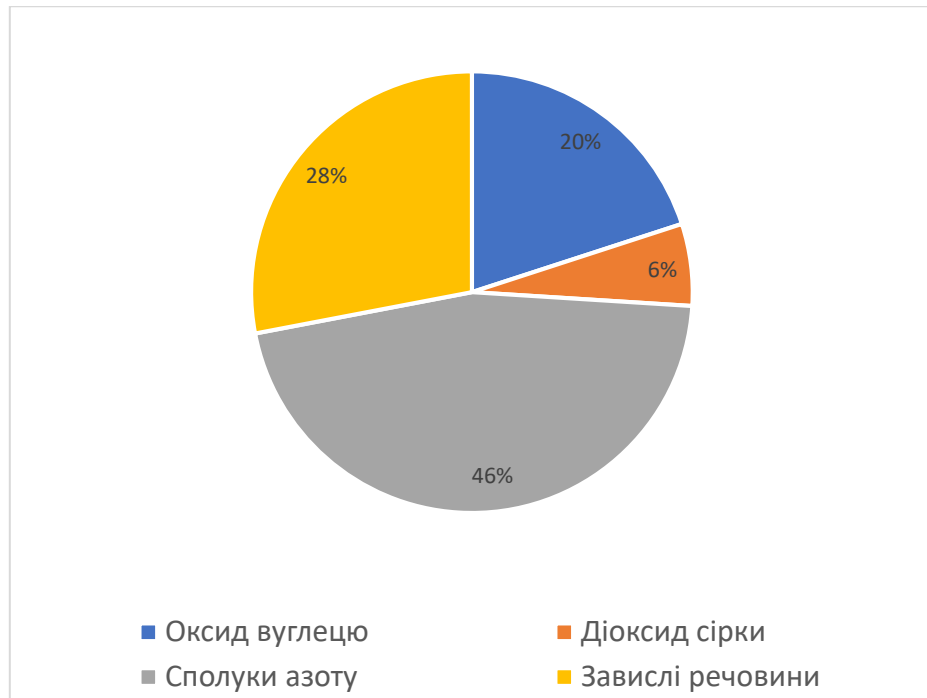


Рис. 9. Хімічний склад основних забруднюючих речовин в викидах від стаціонарних джерел забруднення атмосфери в м. Рівне, %

1.4. Біоіндикаційні дослідження стану атмосферного повітря

Забруднене атмосферне повітря впливає на навколишнє середовище, особливо на рослинний світ. У рослин, які реагують на забруднення проходять різні зміни, а саме: опадає листя, або покривається плямами, міняється зовнішній вид тощо. Виявляючи в результаті спостережень такі зміни, можна впевнено робити висновок, що атмосферне повітря в тій, чи іншій мірі забруднене.

Відомо, що живі організми, в тому числі і рослини, здатні поглинати забруднюючі речовини в великих кількостях, тобто в них процеси кумуляції відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі. До основних забруднюючих речовин, на які реагують рослини належать: озон (O_3), аміак, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, фториди тощо (табл.6) [21, 24].

Прояви пошкоджень при забрудненнях атмосферного повітря

| Забруднююча речовина | Представник рослинного світу | Видимі ознаки пошкодження рослин |
|-------------------------------------|------------------------------|--|
| Діоксид сульфуру (SO ₂) | Сосна звичайна | Побуріння кінчиків хвої |
| | Ялина європейська | Хвоя стає бурого кольору і опадає |
| | Ясен американський | Значне міжжилкове обезбарвлення листя |
| | Папороть | Крайовий некроз червонуватого кольору |
| | Лишайники | Масова загибель |
| Фтористий водень (HF) | Ялиця європейська | Пошкоджена хвоя набуває червоно-бурий колір |
| | Гладіолус | Верхівковий некроз листя, який з часом поширюється на весь листок |
| | Абрикоси | Обезбарвлюються краї листя і відмирають. Поділ відмерлої і живої частини листка за рахунок вузької червоно - бурої смуги |
| Озон (O ₃) | Сосна Веймутова | Кінчики голок набувають бурого кольору, на голках появляються крапки |
| | Редиска, томати | При надлишку озону гинуть |
| | Тютюн | Білі і білувато-сірі крапки і плями на листі |
| | Картопля | На верхній стороні листка появляються сірі з металевим відтінком плями |
| | Ясен американський | На старому листі появляються червонуваті крапки |
| Аміак (NH ₄) | Липа серцеподібна | Нижня частина листя стає сріблястою, рідко глянцевою. При високих концентраціях листя тускніє, потім набуває бурого і навіть чорного кольору |

Вплив забруднюючих речовин повітря на рослини можна умовно розділити на ефекти гострої (дія високих концентрацій за короткий проміжок

часу) і хронічної дії (дія незначних концентрацій речовин за тривалий період). Прикладами ефектів гострого впливу є хлороз або некроз тканин листя, опадання листя, плодів, пелюсток квіток, скручування листків, викривлення їх стебел тощо.

До ефектів хронічної дії відноситься сповільнення або зупинка нормального росту і розвитку рослин (зменшення біомаси, зниження врожаю сільськогосподарських культур); хлороз (знебарвлення) і некроз верхівок листя; бронзове зафарбування листя, повільне в'янення рослини або її органів, їхнє передчасне старіння.

В різних країнах світу контроль за станом атмосферного повітря різний, крім лабораторного контролю для визначення забруднення атмосферного повітря дуже часто використовують різноманітні біоіндикаційні методи [3, 5, 27]. Слід пам'ятати, що жоден з методів біоіндикації прямо і беззаперечно не свідчить про наявність і кількість тої, чи іншої забруднюючої речовини, так як зміни можуть бути викликані різними причинами, які діють на досліджуваній території. Наукове біоіндикаційне дослідження перевіряють в обов'язковому порядку за контрольними зразками, або лабораторним методом.

Для визначення фонових параметрів окремих біоіндикаторів забруднення урбанізованих територій, частину робіт з індикації атмосферного забруднення виконують в межах природно-заповідних територій [30, 50, 60].

Високоінформативними і одночасно дешевими методами визначення чистоти атмосферного повітря є ліхеноіндикаційні методи, які почали проводитися в Україні починаючи з 90-х років минулого століття. Перша робота з ліхеноіндикації забруднення повітря проведена у місті Львові. На даний час уже з'явилися роботи з ліхеноіндикаційного картування міст: Івано-Франківська, Тернополя, Луцька, Рівного, Чернівців та інших [52, 53, 54, 55].

За європейськими директивами для ліхеноіндикаційних досліджень у першу чергу рекомендують використовувати фруктові дерева, причому на території досліджень необхідно сумувати дані, що отримані для дерев одного виду. Якщо це неможливо – тоді сумуються дані для видів з подібними

властивостями кори. В основному, в ліхеноіндикаційному картуванні закордонні та вітчизняні дослідники використовують дані контролю лише за листовими видами.

Фіксація морфологічних відхилень рослин від норми при дії забруднюючих речовин, лежить в основі біоіндикації. Для біоіндикаційних методів придатні як дикорослі, так і культурні види рослин. Якість атмосферного повітря можна контролювати методами пасивного й активного спостереження.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1. Природно-кліматичні особливості території міста Рівне

Місто Рівне віднесене до міст Північно-Західного економічного району, розміщене в центральній частині Рівненської області. Урбанізаційні процеси та антропогенний вплив на природне середовище припадають на другу половину ХХ століття [2, 29, 45]. Площа міста на даний час становить 5824 га, 54% площі міста є забудовані. Місто забудовано компактно, навпіл розтинається залізницею, має автомобільне і повітряне сполучення з містами України та іншими державами. Господарський комплекс та населення міста обслуговується чотирма видами транспорту: електротранспортом, автомобільним, залізничним та повітряним.

Зона помірно-континентального клімату на території міста Рівне формується під впливом повітряних мас, що надходять з Атлантики. Урбоекосистема впливає на природні характеристики клімату та зміну метеорологічних факторів. На території міста відмічається специфічне поєднання компонентів природного середовища і господарського освоєння земель, яке дає можливість виділяти в місті окремі мікрокліматичні зони. Для Рівне притаманна висока вологість повітря, помірна температура та значна кількість опадів влітку. Клімат формується за рахунок циркуляції атмосферного повітря, характеру підстилаючої поверхні та надходження сонячної радіації, які діють одночасно, але з різною інтенсивністю.

Зауважимо, що за даними гідрометеослужби температура повітря у місті за десятиріччя зросла на 0,8–1,0°C. Взимку в Рівне скорочуються тривалі холодні періоди, а влітку підвищується температура до 30 і більше градусів тепла. В останні роки весна настає пізніше, проте вересень майже літній місяць. Найтеплішим місяцем за останні 39 років був 2019 рік, з максимальною температурою влітку 33-35 °C. Ще один рекорд за останніх 139 років, станом на 25 січня 2020 року в м. Рівне ще не наступила метеорологічна зима.

Характерним для м. Рівне було літо 2010 року, так як температура повітря тривалий час становила вище 30°C. Характерним для міста є те, що опади літом, в основному, у вигляді злив. Зливові дощі супроводжуються грозами, вітрами і шквалами.

Західні і північно-західні вітри мають переважаючий напрям. В останні роки посилення швидкості вітру більше 15м/сек відбувається при грозових опадах.

2.2. Методики оцінки екологічного стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації

Забруднення атмосферного повітря визначають біоіндикаційним методом, який отримав назву ліхеноіндикація. За допомогою цього методу не визначають конкретні забруднюючі речовини, що забруднюють атмосферне повітря. Проте, метод ліхеноіндикації дозволяє виділити території, які схильні до впливу забрудненого повітря, або є забрудненими. Наявність, видовий склад та стан лишайників наочно свідчать про стан атмосферного повітря на досліджуваній території [47].

Останнім часом метод ліхеноіндикації набув популярності в дослідженнях стану атмосферного повітря, так як лишайники є дуже чутливими до забруднення і витривалими до різних кліматичних умов.

Чутливість лишайників до забруднення обумовлена:

- будовою лишайника. Відомо, що лишайник є симбіозом гриба і водоростей, будь-який вплив може порушити цей симбіоз, який буде позначатися на їх життєдіяльності;
- поглинання аерозолей, в тому числі забруднюючих речовин, відбувається всім тілом лишайника, а при аридності клімату проходить обезвожування тіла і, відповідно, підвищення концентрації забруднюючих речовин в тілі, що негативно впливає на розвиток лишайника;
- до складу понад 80 видів лишайників входить водорість требуксія, яка надзвичайно чутлива до високих концентрацій діоксиду сульфуру в

атмосферному повітрі;

- різні види лишайників залежать від рН середовища, тому зміна кислотності субстрату, на якому вони поширені, призводить до зміни видового складу лишайників.

В ліхеноіндикації застосовують ряд методик, що визначають стан атмосферного повітря [7, 10], а саме:

- методика оцінки чистоти (забрудненості) атмосферного повітря за частотою і ступінню проектованого покриття лишайниками;
- методика визначення чистоти повітря за видовим складом лишайників;
- шкала вітальності;
- методика візуальної оцінки;
- методика визначення міри забруднення повітря за простою шкалою.

Методика оцінки чистоти (забрудненості) атмосферного повітря за частотою і ступінню проектованого покриття лишайниками.

Для оцінки чистоти атмосферного повітря, в основному, використовують лишайники, що ростуть на стовбурах дерев, але отримують поживні речовини з повітря, а не з субстрату, на якому зростають. Перевагою використання стовбурів дерев є відсутність залежності від ґрунту і доступність джерела світла [15].

В дослідженнях використовують різні види дерев, які поширені на ділянці досліджень. В більшості випадків це липа дрібнолиста, тополя, дуб, береза тощо. Якщо оцінюється забруднення атмосферного повітря визначеної вулиці, або алеї, то описують лишайники, що на стовбурах дерев на кожному третьому, п'ятому дереві. На кожному дереві описанню підлягають 4 ділянки розміром 10x10см: дві з них біля основи стовбура, але з різних сторін, а дві на висоті 1,5-1,6м (в так званому приземному шарі атмосфери). Для визначення ділянок використовують поліетиленові палетки, які розділені на квадрати по

1 см², по яких визначають відсоток загальної площі покриття, яку займає той, чи інший вид лишайника, рис. 10.

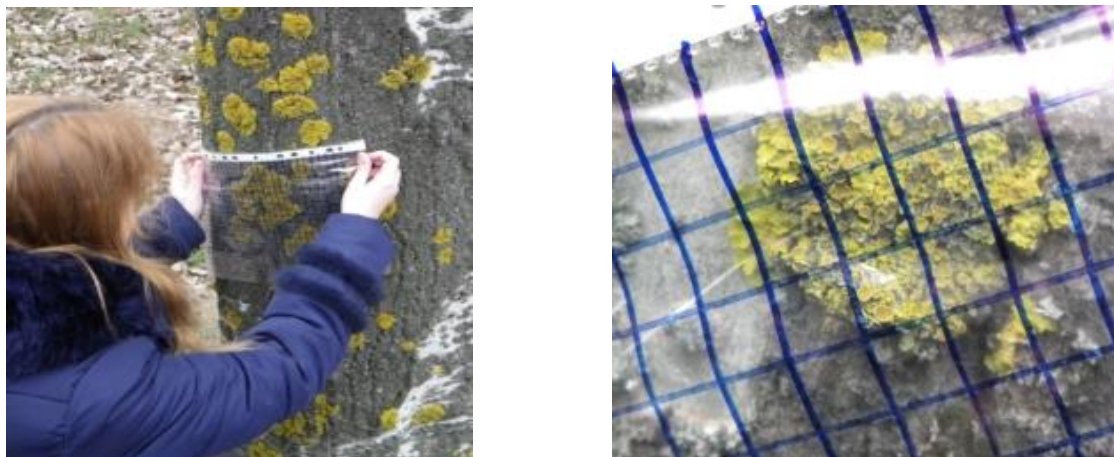


Рис. 10. Визначення проєктивного покриття методом сіток-квадратів

Палетку наносять на дерево і фіксують. Потім визначають число (а) одиничних квадратів, в яких лишайники займають більше 50% площі квадрата – це покриття =100%. Квадрати, які займають площу менше 50%, проєктивне покриття їх становить 50% (в). Загальне проєктивне покриття (R) вираховують за формулою: $R = 100a + 50b / c$, де:

c – число досліджуваних квадратів.

Огляд місцезростання дає можливість оцінити стан слані кожного виду, наявність різних видів, або ж дати характеристику сумарній кількості видів, що знаходяться на досліджуваній території. Оцінка частоти і ступеня проєктивного покриття проводиться за 5-бальною шкалою (табл.7).

Таблиця 7

Оцінка частоти наявності і ступеня покриття лишайниками

| Частота знаходження | (%) | Ступінь покриття | (%) | Бал оцінки |
|---------------------|---------|------------------|---------|------------|
| Дуже рідко | менше 5 | Дуже низька | менше 5 | 1 |
| Рідко | 5-20 | Низька | 5-20 | 2 |
| Рідко | 20-40 | Середня | 20-40 | 3 |
| Часто | 40-60 | Висока | 40-60 | 4 |

| | | | | |
|------------|--------|-------------|--------|---|
| Дуже часто | 60-100 | Дуже висока | 60-100 | 5 |
|------------|--------|-------------|--------|---|

Методика визначення чистоти повітря за видовим
складом лишайників

Таблиця 8

| Стан покриву лишайників | Характеристика забруднення |
|--|---|
| Лишайники відсутні. Є тільки водорості <i>Pleurococcus</i> у вигляді зеленого нальоту на деревах | Зона дуже сильного забруднення атмосферного повітря |
| Накипний лишайник <i>Lecanora</i> сіро-зеленого кольору у основи дерев | Зона сильного забруднення атмосферного повітря |
| Присутні багато видів накипних лишайників, присутній листуватий помаранчевий лишайник <i>Xantoria</i> і сірі листуваті лишайники <i>Hypogymnia</i> і <i>Parmelia</i> | Зона середнього забруднення атмосферного повітря |
| Присутні усі види лишайників | Відносно чиста зона |
| Присутні кущисті лишайники, в тому числі <i>Evernia</i> | Чиста зона |
| Присутні кущисті і листуваті лишайники, в тому числі <i>Usnea</i> | Дуже чиста зона |

Шкала вітальності використовується для оцінки стану таломних видів лишайників. Пошкодження тіла лишайника може проявлятися у вигляді некротичних плям, рис.11.

Для оцінки використовується шкала вітальності. В якості індикаторних видів підбираються види різної чутливості до забруднення повітря, а саме: види роду *Parmelia*, *Hypogymnia*, *Physcia* та інші. У таких видів ушкодження добре помітні. Клас вітальності визначається для кожного виду окремо. Існують 5 класів вітальності лишайників:

- 1 клас – нормальні;
- 2 клас – злегка ушкоджені;
- 3 клас – середньо пошкоджені;

4 клас – сильно пошкоджені;

5 клас – мертві.



Рис.11. Пошкодження талому лишайника

Методика візуальної оцінки

Візуальну оцінку видів лишайників проводять на невеликих пробних ділянках, що розміщені на стовбурі дерева на певній висоті. Тобто описують покриття кожного виду лишайника в балах. Для оцінки використовують шкалу Браун – Бланке (табл.9).

Таблиця 9

Шкала визначення проективного покриття Браун – Бланке

| № з/п | Характеристика | Ступінь проективного покриття, % | Бали |
|-------|---|----------------------------------|------|
| 1 | Лишайники зустрічаються в одиничних екземплярах | незначна | 0 |
| 2 | Лишайники зустрічаються рідко на значній площі | До 10 | 1 |
| 3 | Лишайників значна кількість, особини розріджені | 10-25 | 2 |
| 4 | Лишайників багато | 25-50 | 3 |

| | | | |
|---|-------------------------------|-----------|---|
| 5 | Будь-яка кількість лишайників | 50-75 | 4 |
| 6 | Велика ступінь покриття | Більше 75 | 5 |

Дослідження проводять на кількох десятках дерев, розраховується середній бал зустрічальності і покриття для різних типів лишайників – накипних (Н), листоватих (Л) і кущистих (К). За балами середньої зустрічальності і покриття, розраховують показник відносної чистоти атмосферного повітря (ОЧА) за формулою:

$$\text{ОЧА} = (\text{Н} + 2 \times \text{Л} + 3 \times \text{К}) / 30$$

Відомо, що між значеннями ОЧА і середньою концентрацією діоксиду сірки в повітрі є прямий зв'язок, тобто чим вище показник ОЧА, тим чистіше атмосферне повітря.

Методика визначення міри забруднення повітря за простою шкалою

За значеннями наявності різних видів лишайників визначають міру забруднення атмосферного повітря (табл.10).

Таблиця 10

Шкала для визначення міри забруднення атмосферного повітря

| Міра забруднення | Наявність лишайників |
|-------------------------|---|
| Слабке забруднення | Зникають кущисті лишайники |
| Середнє забруднення | Зникають листові і кущисті лишайники |
| Сильне забруднення | Зникають листові, кущисті і накипні лишайники |

Оцінюють екологічний стан атмосферного повітря за зонами розвитку лишайників в межах 5 класів (табл.11).

Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря

| Клас забруднення | Екологічний стан | Зона розвитку лишайників | % розвитку лишайників |
|------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| I | Еталонний | Оптимальна | 60 – 100 |
| II | Добрий | Сприятлива | 40 – 60 |
| III | Задовільний | Перехідна | 15 – 40 |
| IV | Поганий | Боротьби | 5 – 15 |
| V | Дуже поганий | Лишайникова пустеля | 0 – 5 |

Для визначення ступеня забруднення атмосферного повітря можна використовувати шкалу Трасса (табл.12)

Шкала визначення ступеня забруднення атмосферного повітря (за Трассом)

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

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА РІВНЕ

3.1. Вплив забрудненого атмосферного повітря на стан лишайників

Для ліхеноіндикаційних досліджень, в основному, використовуються лишайники, які зростають на стовбурах дерев, так як вони є найбільш доступними для вивчення [19, 28]. Поглинання вологи у них проходить всією поверхнею тіла, тому вологість слані є непостійною і залежить від вологості в атмосферному повітрі. У лишайників відсутні органи, що контролюють поглинання поживних речовин, а надходження води і обмін розчинами проходить не за фізіологічними, а за фізичними законами. Слань, як фільтрувальний папір вбирає вологу. Вони дуже чутливі до складу речовин, які знаходяться в повітрі. Науковцями з'ясовано, що із збільшенням забруднення повітря, зменшується кількість лишайників, вони рідко зустрічаються на стовбурах дерев, мають низьку життєздатність. Інколи трапляються лишайникові пустелі при сильно забрудненому атмосферному повітрі.

Лишайники мають властивість довго знаходитися в зневодненому стані, вологість їх може складати від 2 до 10% сухої маси. При такому стані вони частково призупиняють всі процеси, тобто перебувають в анабіозі, до першого надходження вологи. Поглинання з вологою мінеральних та інших речовин проходить дуже швидко і, звичайно, відбуваються процеси концентрування всіх сполук, які надходять в тіло слані. В слані підвищується вміст важких металів, мінеральних і органічних речовин тощо.

Особливістю лишайників є те, що вони не виділяють поглинені забруднюючі речовини в навколишнє середовище, а реагують морфологічними змінами, або фізіологічними порушеннями.

При близькому контакті з джерелом забруднення повітря слань лишайника потовщується, стає компактною і майже втрачає плодове тіло. При тривалому забрудненні лишайники можуть мати білувате, біло-сіре,

коричневе забарвлення. За видовим складом можна визначати стан атмосферного повітря.

Лишайники по різному реагують на вміст забруднюючих речовин в слані та найчутливішими є до діоксиду сульфуру, який при концентрації 0,5 мг/м³ згубно діє абсолютно на всі види лишайників. При середніх концентраціях 0,3 мг/м³ можуть появитися лише накипні лишайники. Навіть незначні концентрації діоксиду сульфуру порушують процеси фотосинтезу, проходить деградація хлорофілу та пригнічується ріст талому лишайника.

Для лишайників немаловажним є рН середовища. Нейтральне середовище більш сприятливе для росту і розвитку, ніж кисле. При рН 3,2-3,4 в атмосферній волозі хлорофіл окислюється і слань гине. Підвищення вологості повітря призводить до посилення процесів розчинення SO₂ і підкислення середовища. Якщо талом у лишайника сухий, то лишайники адаптуються до значної концентрації діоксиду сульфуру.

Відомо, що таломи молодих лишайників чутливіші до забруднень, ніж старі. На лишайники згубно впливають і інші забруднюючі речовини, а саме: оксиди і діоксиди нітрогену, оксид і діоксид карбону, сполуки фтору, хлору, важкі метали та інші.

Науковцями доведено, що при збільшенні рівня забруднення атмосферного повітря популяції лишайників зазнають наступних змін:

- зниження видової різноманітності;
- зниження чисельності;
- зменшення величини слані;
- зниження інтенсивності забарвлення;
- пригнічення життєдіяльності;
- збільшення концентрації важких металів у слані лишайника.

Чисельні наукові дослідження свідчать про пряму залежність між станом атмосферного повітря і чисельністю окремих видів лишайників. Найбільш стійкими до забруднення є накипні види лишайників, деякі види листуватих. Найменш стійкими до забруднень є куцисті види.

3.2. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря в м. Рівне методом ліхеноіндикації

В останні п'ять років в м.Рівне зафіксовано зростання кількості населення і впровадження нових виробництв різного профілю. У загальному об'ємі забруднень, що викидаються в атмосферне повітря, біля 86% залишається в межах території міста, а жителі міста відчують ці забруднення. Існують різні методи оцінки чистоти атмосферного повітря, в тому числі і біоіндикаційні. Чутливими біоіндикаторами чистоти повітря є лишайники, які витримують і сонячне опромінення, і сильне нагрівання, або охолодження, мають здатність при несприятливих умовах перебувати в стані «анабіозу», але дуже чутливі до забруднення повітря. По наявності, або відсутності певних видів організмів, або їх угруповань, чи чисельності можна оцінити стан атмосферного повітря. Тіло (слань) лишайника не забезпечене постійною вологою, поглинають її лишайники з повітря за фізичними, а не фізіологічними законами.

Основна мета нашого дослідження –це з'ясування видового і кількісного складу лишайників на досліджуваній території та визначення стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації.

Для проведення дослідження необхідно було вибрати територію дослідження, визначити досліджувані ділянки, визначити кількість дерев без ушкоджень приблизно одного віку і одного діаметру стовбура, підготувати прозору сітку для визначення площі проективного покриття.

Дослідження проводили в західному районі м. Рівне (мікрорайон Ювілейний) впродовж вересня 2023 року. Досліджувана територія має незначну кількість промислових підприємств, які в даний час працюють з потужністю не більше 50%. Це Рівненський цегельний завод №1, Ремзавод, ТОВ «Рівнепобутприлад», ВАТ «Поліссяхліб», дві АЗС та дрібні побутові організації.

Значна територія зайнята сільськогосподарськими угіддями, які поступово забудовуються. Досліджувана територія має щільну багатоповерхову забудову і розчленована великою сіткою автомобільних шляхів. Інфраструктура району модернізується шляхом приватної забудови різних гіпермаркетів. Основне забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту.

Зелена зона налічує один парк, два сквери і насадження обабіч двох центральних доріг з інтенсивним транспортним рухом. Парк Ювілейний займає площу 8,2655га, нараховує 39 видів дерев, де 84,3% таксономічної структури займають представники Magnoliophyta. Основні види деревних насаджень: *Picea abies*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Juglans nigra*, *Populus tremula* та рядові посадки *Salix alba*. На території парку є неокультурена територія, частково підтоплена і представлена рудероценозами. Зауважимо, що стан дерев задовільний..

Дослідження проводили на чотирьох ділянках:

- досліджувана ділянка № 1– зелені насадження обабіч дороги по вул. Соборна (20 дерев тополі);
- досліджувана ділянка № 2 – зелені насадження обабіч дороги по вул. Кулика і Гудачека (20 дерев липи);

- досліджувана ділянка № 3 – зелені насадження на території школи №23 (10 берез, 3 клени, 4каштани, 3 дуби);

- фонові ділянки № 4 – зона зелених насаджень ділянки парку «Ювілейний» (12 дубів і 8 берез).

На кожній ділянці для обстеження вибрали по 20 дерев. Проводили обстеження кожного четвертого дерева, тобто обстеженню підлягали по 5 дерев на кожній з чотирьох ділянок. Древа обстежували від основи стовбура до висоти дерева 1,5м згідно методик.

При дослідженні ми використовували такі методики оцінки лишайників:

- по ступеню проективного покриття лишайниками;
- шкала вітальності
- візуальна оцінка

Оцінювали екологічний стан атмосферного повітря:

- за простою шкалою;
- за видовим складом лишайників;
- за зонами розвитку лишайників;
- за шкалою Трасса;

Ступінь розвитку лишайників, або проективне покриття лишайниками проводилось так:

На кожній визначеній ділянці визначався вид дерева і вид лишайника. Для визначення процентного розвитку лишайника використовували пластмасову палетку розміром 10x10см, в якій кожний квадрат 1x1см відповідав 1% площі дерева, яку розраховували за формулою: $S = \ell \cdot h$, де:

ℓ - довжина окружності стовбура дерева, м;

$h = 1,5\text{м}$ – висота стовбура дерева;

Підраховували кількість квадратиків на палетці, які покривали лишайник і вираховували середню величину покриття кожного четвертого дерева. Потім визначали клас якості повітря і сприятливість до проживання (табл.13).

Клас якості повітря в західному районі м. Рівне

| Досліджувана ділянка | Проективне покриття, % | Зона розвитку лишайників | Клас якості атмосферного повітря | Стан середовища проживання |
|----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Ділянка № 1 | 8 | зона боротьби | IV | поганий |
| Ділянка № 2 | 12 | зона боротьби | IV | поганий |
| Ділянка № 3 | 36 | перехідна | III | посередній |
| Ділянка № 4 | 52 | сприятлива | II | добрий |

Дані таблиці дають уявлення про стан навколишнього природного середовища в західній частині м. Рівне. Безперервний великий потік транспорту по головній вулиці Соборній дає свої наслідки і стан проживання на цій ділянці межує з показником «дуже поганий». Зауважимо, що ділянка на території школи знаходиться не в набагато кращому стані, так як з усіх сторін території проїжджає транспорт.

Визначення за шкалою вітальності

Клас вітальності був визначений для кожного дерева. На ділянках №1 і №2 виявлена незначна кількість лишайників з низькою життєздатністю, слань чахла. На ділянці №1, тобто обабіч траси ростуть тільки тополі, де виявлена значна кількість мертвих лишайників. Трохи краща ситуація з зеленими насадженнями липи по вулиці Кулика і Гудачека, проте на обох досліджуваних ділянках зафіксований 4 клас вітальності, який охарактеризований показником «сильно пошкоджені» лишайники.

Сприятлива зона росту і розвитку лишайників існує на даний час на досліджуваній ділянці №4. Тут виявлені добре розвинуті з нормальним забарвленням слані лишайники. Видовий склад обмежений, клас якості

повітря II, який має характеристики «злегка ушкоджених лишайників» 2 класу вітальності.

Визначення міри забруднення атмосферного повітря за простою шкалою

На кожній з досліджуваних ділянок ми зібрали зразки лишайників, описали їх та визначили видовий склад за допомогою визначника. Отримані результати занесли в табл.14.

Таблиця 14

Шкала для визначення міри забруднення атмосферного повітря за простою шкалою

| № ділянки | Характеристика насаджень ділянки | Наявність лишайників | Міра забруднень |
|-----------|---|---|---------------------|
| 1 | Насадження тополі обабіч дороги по вул. Соборна | Накипні лишайники: Lecanora, Нурогимнія | Сильне забруднення |
| 2 | Насадження липи обабіч дороги по вул. Кулика і Гудачека | Накипні лишайники: Lecanora, Нурогимнія | Сильне забруднення |
| 3 | Насадження берези, дубів, каштанів та кленів на території школи №23 | Накипні лишайники: Lecanora, Нурогимнія Листуваті лишайники: Xanthoria | Середнє забруднення |
| 4 | Насадження дубів і берези на ділянці парку «Ювілейний» | Накипні лишайники: Lecanora, Нурогимнія Листуваті лишайники: Xanthoria, Нурогимнія та Parmelia | Слабке забруднення |

Дослідженнями встановлено, що на ділянках обабіч двох доріг зафіксовані тільки незначна кількість накипних лишайників, що свідчить про сильне забруднення атмосферного повітря. На території школи крім накипних лишайників визначений один вид листуватого лишайника. Міра забруднення атмосферного повітря визначена як «середнє забруднення». І тільки на

території ділянки парку стан повітря покращується до «слабкого забруднення».

Ступінь забруднення атмосферного повітря визначали і за шкалою Трасса Характеристика забруднення атмосферного повітря представлена в (табл.15).

Таблиця 15

Ступінь забруднення атмосферного повітря м. Рівне (за Трассом)

| Досліджувана ділянка | Зони розвитку лишайників | Ступінь покриття лишайниками, % | Ступінь забруднення |
|--|--------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Ділянка № 1 (ділянка дороги по вулиці Соборна) | зона боротьби | 8 | Сильне забруднення |
| Ділянка № 2 (ділянка дороги по вулиці Кулика і Гудачека) | зона боротьби | 12 | Сильне забруднення |
| Ділянка № 3 (територія школи №23) | перехідна | 36 | Відносно забруднення |
| Ділянка № 4 (ділянка парку «Ювілейний») | сприятлива | 52 | Зона чистого повітря |

На досліджуваній ділянці № 1 і 2 визначений IV клас забруднення атмосферного повітря в західному районі міста Рівне з «поганим» екологічним станом. Лишайники знаходяться в «зоні боротьби» з показниками розвитку 8% і 12% відповідно. Третім класом забруднення атмосферного повітря з «задовільним» його станом охарактеризована територія школи №23. Зона розвитку лишайників є перехідною від «зони боротьби» до «сприятливої» зони, відсоток розвитку лишайників збільшився на 24%. «Добрий» екологічний стан має територія ділянки парку «Ювілейний» з «сприятливою»

зоною розвитку лишайників в 52% та другим класом забруднення атмосферного повітря (табл.16).

Таблиця 16

Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря м. Рівне

| Досліджувана ділянка | Клас забруднення | Екологічний стан | Зона розвитку лишайників | % розвитку лишайників |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | IV | Поганий | Боротьби | 8 |
| 2 | IV | Поганий | Боротьби | 12 |
| 3 | III | Задовільний | Перехідна | 36 |
| 4 | II | Добрий | Сприятлива | 52 |

Проте, «оптимальна» зона розвитку лишайників з «еталонним» екологічним станом в західному районі міста відсутня.

Рекомендовані заходи покращення стану атмосферного повітря в місті

- будівництво об'їзних доріг;
- перехід автотранспорту на нешкідливі види палива (газ, електромобілі);
- заміна старого зношеного автотранспорту;
- недопущення використання етильованого бензину з вмістом свинцю;
- встановлення пило-газоочисного обладнання для очистки промислових викидів;
- збільшення кількості зелених насаджень;
- посилення контролю санітарних та екологічних умов міста;
- недопущення стихійних звалищ сміття;
- своєчасне вивезення сміття та прибирання побутових відходів;
- проведення виховної роботи серед населення щодо недопущення забруднення атмосферного повітря;

3.3. Місце теми «Ліхеноіндикація» в інтегрованому курсі «Природничі науки».

Щоб зрозуміти наскільки важлива для учнів запропонована тема ми провели експеримент з учнями 11 класу в Опорному закладі «Котівський ліцей». До проведення експерименту нами був проведений аналіз якісної успішності школярів за результатами оцінок тем програми «Природничі науки» для визначення рівня успішності учнів 11 класу, рис.12.

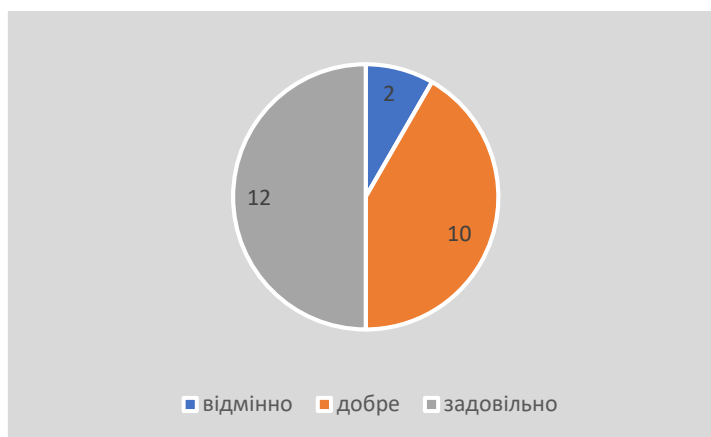


Рис.12. Успішність учнів 11 класу до проведення експерименту

Отримані результати свідчать, що якісна успішність учнів 11 класу становила 50%. Оцінку «відмінно» отримали 2 учні, що становить 8,3%, а 41,7% учнів отримали оцінку «добре». Абсолютна успішність учнів 100%.

Нами була розроблена дослідницька практична робота на тему «Визначення забруднення атмосферного повітря методом ліхеноіндикації» і запропоновано її провести в позаурочний час.

Мета роботи: оцінити стан атмосферного повітря за допомогою лишайників.

Завдання роботи:

- ознайомитись з видами лишайників (накипні, листоваті і кущисті);
- визначити наявність лишайників на території дослідження;
- провести аналіз дослідження;
- оцінити стан атмосферного повітря за простою шкалою.

Матеріали і обладнання: лупа, блокнот, ручка, ніж, фотоапарат, метр, палетка 10x10 см, 5 різних порід дерев.

Хід роботи

На першому етапі роботи вчитель ознайомлює учнів з характеристикою основних видів лишайників та процесом визначення стану атмосферного повітря на досліджуваній території за допомогою лишайників. Проводиться екскурсія на природу. Вибирається ділянка з деревами, визначається їх порода і проводиться обстеження їх стовбурів на наявність лишайників. Визначення проводять візуальним методом на кожному стовбурі дерева.

Оцінку видів лишайників проводять на невеликих пробних ділянках, що розміщені на стовбурі дерева на висоті 1,5м методом рамки. На пластмасовій палетці розміром 10x10 см фломастером наносять квадратики розміром 1x1см. Площу рамки приймають за 100%, а один квадратик за 1%. Прикладають палетку до лишайника на стовбурі дерева і рахують квадратики, які повністю покривають лишайники. Візуально проводять оцінку проективного покриття кожного виду лишайника на стовбурі дерева, переводячи значення в бали. Тобто описують покриття кожного виду лишайника в балах. Для оцінки використовують шкалу Браун–Бланке (табл.17).

Таблиця 17

Шкала визначення проективного покриття Браун – Бланке

| № з/п | Характеристика | Ступінь проективного покриття, % | Бали |
|-------|---|----------------------------------|------|
| 1 | Лишайники зустрічаються в одиничних екземплярах | незначна | 0 |
| 2 | Лишайники зустрічаються рідко на значній площі | До 10 | 1 |

| | | | |
|---|---|-----------|---|
| 3 | Лишайників значна кількість, особини розріджені | 10-25 | 2 |
| 4 | Лишайників багато | 25-50 | 3 |
| 5 | Будь-яка кількість лишайників | 50-75 | 4 |
| 6 | Велика ступінь покриття | Більше 75 | 5 |

Всі види лишайників записують в зошиті, роблять фотографії і колекції знайдених лишайників. Визначають наявність лишайників і міру забруднення атмосферного повітря за простою шкалою та оцінюють ступінь забруднення за видом лишайника (табл.18).

Таблиця 18

Шкала для визначення міри забруднення атмосферного повітря

| Міра забруднення | Наявність лишайників |
|-------------------------|--|
| Слабке забруднення | Наявні накипні і листоваті види лишайників |
| Середнє забруднення | Зникають листоваті лишайники, залишаються накипні, можливі поодинокі екземпляри листоватих |
| Сильне забруднення | Відсутні всі види листових, кущистих лишайників, можливі поодиначні екземпляри накипних. |

Аналізують отримані результати досліджень і роблять висновки про стан атмосферного повітря.

Цікаво було спостерігати за учнями і на підготовчому етапі, і під час самих досліджень. Запитання, що виникали діти старались самостійно вирішити через пошук інформації в інтернеті, або консультувались з присутнім вчителем. Дослідження проводили по 6 чоловік в групі. Для кожної групи було запропоновано один вид дерева, на стовбурі якого і проводили дослідження. Зауважимо, що сам процес дослідження захоплював учнів, незважаючи на те, що вони не знали виду лишайника, але до якої групи він

належить відповідь була правильною. При аналізі і підведенні підсумків дослідницької роботи був визначений стан атмосферного повітря на досліджуваній ділянці території школи.

Відмітимо і розвиток комунікативних умінь, і навичок при колективній роботі. Проведення досліджень в групі, оформлення звіту і колективний аналіз та презентація роботи дали свої результати, рис.13.

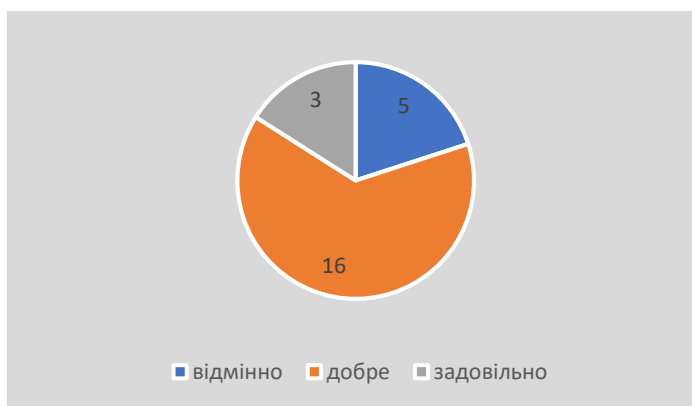


Рис.13. Успішність учнів 11 класу після проведення експерименту

Якісна успішність учнів значно підвищилася на 37,5%, так як оцінку «відмінно» отримали 20,8% учнів, а «добре» – 66,7% учнів. Зауважимо, що на 25% покращили успішність учні з оцінкою «добре». «Задовільну» оцінку отримали лише 12,5% учнів, проти 50% до проведення експерименту.

Отже, дослідницька діяльність, на нашу думку, дає позитивні результати при формуванні в учнів вміння спостерігати, аналізувати, оцінювати і робити висновки. Вона стимулює творчий розвиток школяра, кожен учень реалізує себе як дослідник, демонструє свою компетентність.

При виконанні досліджень учні набули навичок спостережень, отримуючи нові знання сформували уміння наукового характеру [11, 12, 38, 39, 56]. В учнів підвищився інтерес до «Природничих наук».

ВИСНОВКИ

Лишайники мають високу стійкість до несприятливих факторів і невибагливі до умов середовища. На забруднення атмосферного повітря реагують по-різному. За допомогою видового і кількісного складу лишайників можна проводити аналіз і оцінку ступеня забруднення атмосферного повітря.

В західній частині міста досліджувана територія не багата на лишайники. Повністю відсутні куцисті лишайники. Найпоширенішими є накипні лишайники роду Леканора і незначна кількість листуватих лишайників Ксанторія та Пармелія. Чисельність видового складу лишайників залежить від міри забруднення атмосферного повітря.

Найбільш забрудненими територіями є досліджувані ділянки №1 і №2, це узбіччя дороги по вул. Соборна та вул. Кулика і Гудачика. Проективне покриття лишайниками становить 8 і 12% відповідно. На обох ділянках зафіксована зона боротьби лишайників, визначений IV клас забруднення із

поганим екологічним станом. На ділянках зростають тільки накипні види лишайників. Слань лишайників погано розвинута з біло-сірим забарвленням, зафіксовані змертвілі часточки слані.

На території школи №23 (ділянка №3) визначена перехідна зона розвитку лишайників з проєктивним покриттям в 36%. Екологічний стан середовища «задовільний», клас якості атмосферного повітря III. Крім накипних видів появляються невелика кількість листуватих. Така ситуація свідчить про середню концентрацію діоксиду сульфуру в атмосферному повітрі.

Фонова ділянка дослідження представлена ділянкою території парку «Ювілейний». На досліджуваній ділянці ростуть дуби і берези, стовбури яких і досліджували. На цій ділянці сприятлива зона розвитку лишайників, проєктивне покриття становить 52% із «добрим» станом середовища проживання. Забруднення атмосферного повітря в межах II класу, екологічний стан «добрий». Для цієї території характерні накипні і листуваті види лишайників. Кущисті види лишайників не виявлені. Рекреаційна територія має другий клас забруднення атмосферного повітря, так як з усіх сторін є сітка доріг.

Виконання дослідницької роботи сприяло зацікавленості учнів до предмету «Природничі науки» і підвищився рівень якісної успішності учнів з 50% до 87,5%, що на 37,5% вище, ніж до проведення експерименту.

Впровадження експериментів природничого характеру в освітній процес пропонується продовжувати при виконанні кваліфікаційних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверин Е.Г., Парфенюк А.С. Анализ состояния зеленых зон на территории города Донецка. Экологические проблемы промышленных мегаполисов: матер. V междунар. науч.-практ. конф., 21–23 мая 2008 г. Донецк–Авдеевка, 2008. С. 165–168.
2. Аверчук А.С. Лишайники в урбаноекосистемах міста Донецька. Актуальні проблеми ботаніки та екології: міжнар. наук. конф. молод. учених: тез. докл. К.: 2008. С. 55 – 56.
3. Аверчук А.С. Лишайники деревних насаджень м. Донецьк та прикладні дослідження в біології: міжнар. наук. конф. студ., аспір. та молод. вчених: тези доп. Донецьк: Вебер, 2009. С. 11 – 12.
4. Аверчук А.С., Машталер А.В. Возможности лишеноиндикации в условиях промышленного Донбасса. Биоразнообразие. Экология. Эволюция. Адаптация: II междунар. науч. конф. студ., аспір. та молод. вчен.: тез. докл. Одеса, 2005. С. 8.
5. Аверчук А.С. Порівняльний аналіз видового складу лишайників у екотопах відвалів вугільних шахт. Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: VIII міжнар. наук. конф. аспір. та студ.: тез. докл. Донецьк, 2009. Т.1. С.173 – 174.
6. 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. Баштаннік М. П. и др. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2014. №. 266. С. 70-93.
7. Артемчук Г. І., Курило В. М., Кочерган М. П. Методика організації науково-дослідної роботи: навч. посіб. для студ. та викл. ВНЗКиїв. держ. лінгв. ун-т. К.: Форум, 2000. 270 с.

8. Біоіндикація та біотестування: навчальний посібник. Кременчук. Видавництво ПП Щенбати О. В., 2016. 76 с.

9. Біоіндикація та біотестування – методи пізнання екологічного стану навколишнього середовища. Ашихміна Т. Я. та ін. К: Знання, 2005. 450 с.

10. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. А.І. Горова та ін. Дніпро: Національний гірничий університет, 2014. 76 с

11. Богданова О. Методологічні основи роботи вчителя біології. Біологія, 2010. № 30 (394), жовтень, с.16-18.

12. Бровко С. Розвиток дослідницького інтересу учнів на уроках біології. Рідна школа. 1998. № 7 - 8.

13. Василюва О.І., Романишин М. Н.Індикація атмосферного забруднення в центральному районі Львова за допомогою лишайників. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені Зажицького, том 14. 2012. №3(53) частина 2. 76-80 с.

14. Біологія та екологія стану міст за допомогою мохоподібних.: наук. журн. студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

15. Вельчева Л.Г., Антоновська Л.В. Вивчення стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації. Екологія та ноосферологія : зб. наук. праць. 2008. Т. 19, № 1-2. С. 182-185

16. 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.

17. Димитрова Л.В. Ліхеноіндикаційне забруднення атмосферного повітря м. Полтава. Укр. ботан. журн. 2008а. № 65 (1). 133-140с.

18. Димитрова Л. В. Ліхеноіндикація забруднення атмосферного повітря м. Києва. Український ботанічний журнал. 2008. Т. 65. № 4. С. 572-585.

19. Димитрова Л. В. Урбаногрупи епіфітних лишайників та особливості їх поширення на території м. Києва. Український ботанічний журнал 2008. Т. 65, № 3. С. 408-417.

20. Димитрова Л.В. Облік видового різноманіття лишайників з метою індикації стану навколишнього середовища Основи спостережень за станом довкілля. С.139-149.

21. Димитрова Л.В. Ліхеноіндикація атмосферного повітря м. Полтава. Український ботанічний журнал, 2008. С 25-40.

22. Дідух Я.П. Фітоіндикація екотопів верхів'я Західного Бугу. Ботанічний журнал. 1994. № 2-3. С. 57-67.

23. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2021, 2022р. Мін-во екології та природних ресурсів України. Державне управління екологічної безпеки в Рівненській області. Рівне, 2022, 2023. 230с., 232с.

24. Єроменко В.О., Манідіна Є.А. Вплив сульфур оксиду на стан навколишнього природного середовища.[Електронний ресурс]. Режим доступу: [www/.zgia.zp.ua>gazeta](http://www.zgia.zp.ua/gazeta)

25. 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.

26. Зеленко С.Д. Лихоіндикаційна оцінка забрудненості повітря м. Чернігова. Укр. ботан. журн. 1999. №56 (1). 64-67с.

27. 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.

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

29. Качинська В.В. Екологічні особливості поширення лишайників антропогенно трансформованих територій Криворіжжя. Український екологічний журнал. 2017. №7 (2) С.31-36.

30. Кашуба О.О., Домбровський К.О. Ліхеноіндикація забруднення атмосферного повітря рекреаційних зон м. Запоріжжя. Біологічні роботи. 2012. С. 130–135.

31. Кондратюк С. Я. Лишайники як індикатори стану довкілля 1999.

32. Кондратюк С.Я. Індикація стану навколишнього середовища України за допомогою лишайників. Київ: Наук. думка, 2008. 336 с.

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

34. Кучерявий В.П. Урбоекологія. Л.: Світ, 1999. 346с.

35. Кучерявий В. А. Природная среда города Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. Ун-те, 1984.

36. Литвиненко Ю. І., Маслов Д. В. Ліхеноіндикаційна оцінка якості атмосферного повітря м. Путивль. Слобожанський науковий вісник. Серія природнича. 2022. Т. 1, вип. 1.
37. Ліхеноіндикація. Кондратюк С.Я., Мартиненко В.А. (відп. ред.). Київ, Кіровоград; ТОВ «КОД 2006. 2006 с.
38. Недодатко Н. Технологія формування навчально-дослідницьких умінь школярів Рідна шк. 2005. № 6 (869). С. 21-23.
39. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Оцінка забрудненості повітря методом ліхеноіндикації: Методичні вказівки до виконання практичної роботи з екології.
40. Окснер А. М. Флора лишайників України. В 2-х т. Т.2., вип. 3. К.: Наукова думка, 2010. 663 с.
41. Оцінка забруднення атмосферного повітря у місті Сокаль методами ліхеноіндикації [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://ekolosok.org/naukovyy-kerivnyk-otsinka-zabrudnennia-atmosfernoho-povitria-umisti-sokal-metodamy-likhenoindykatsii/>.
42. Пірогов С.В., Волгін С.О. Біоіндикаційні дослідження за епіфітною ліхенофлорою шпилькових і листяних дерев на Західній Україні. Біологічні студії. 2008. Т. 2, №1. С. 86–91.
- Притула Н.М. Біоіндикація: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 141 с.
- 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.

43. Рабош І.О., Кофанова О. Ліхеноіндикаційні дослідження в градієнті антропогенного навантаження (на прикладі паркових зон м.Києва). Екологічні науки 2019. №1 (24). Т.1. С.46-50.

44. Ричак Н. Л., Свистунова А. М. Оцінка якості атмосферного повітря урбосистеми методом ліхеноіндикації (на прикладі Держинського району міста Харкова). Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. 2013. № 1070. Серія «Екологія». Випуск 9. С. 74–83.

45. Тарасова В.Н., Сони́на А.В., Андросова В.И. Лишайники: физиология, экология, лишеноиндикация. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11 (часть 1). С. 76-77.

46. Суханова І.П. Ліхеноіндикація якості повітряного середовища дендропарку «Софіївка» НАН України. Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди. Біологія та валеологія. 2012. Вип.14. С.162-170.

47. Солошенко О.В., Фесенко А.М., Гаврилович Н.Ю. та ін.]. Основи екології. Підручник. Харків : Парус. 2008. 371с.

48. Ханнанова О.Р., Арканова А.А. Біоіндикаційна оцінка стану атмосферного повітря полтавського міського парку. Біологія та екологія. 2017. Т.3. №1-2. С.69-75.

49. Ходосовцев О.Є., Постоялкін С.В. Нові види лишайників для України та Українських Карпат з Карпатського біосферного заповідника. Укр. ботан. журн. 2006. Том 63, №3. С. 351-357.

50. Филипчук Т.В., Михальчук А.М. Лишеноиндикация парковых территорий города Черновцы. Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития: матер. V научно-пр.конф. / отв.ред. Н.Н.Никитина. Ишим: изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова. 2010. Вып.5. 350 с. С.223-225.

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

52. Шершова Н. В. Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря в місті Васильків Київської області. Український ботанічний журнал. 2018. Т. 75, №2. С. 143–148.

53. Шишова О.І., Качинська В.В. Видовий склад епіфітних лишайників в умовах селітебних зон Криворіжжя. Екологічний вісник: збірник наукових праць студентів та викладачів Екологічного наукового та науково-методичного центру Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «Криворізький національний університет». Кривий Ріг: КПІ ДВНЗ «КНУ» 2012. Вип.8. 64с.

54. Ягенська Г.В. Формування дослідницьких умінь у процесі вивчення біології в основній школі. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук. Київ : 2012. 20с.

55. Prirodni svijet Clatine i ocolice. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.slatina-nature.com/lisajevi/>

56. The official site of the Department of Environment and Natural Resources of Lviv Regional State Administration «A regional report on the state of the environment in the Lviv region in 2005-2015», available at. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ekologia.lviv.ua>. (Accessed 18 May 2017).

57. 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.

58. Dymytrova, L., Nadyeina, O., Naumovych, A., Keller, C. & Scheidegger, C. 2013. Primeval beech forests of Ukrainian Carpathians are sanctuaries for rare and endangered epiphytic lichens. *Herzogia* 26: 73–89.

59. Khodosovtsev A. Ye., Dymytrova L.V., Nadyeina O.V., Naumovich G.O., Khodosovtseva Yu. A., Scheidegger Ch. Epiphytic Lichen Diversity of Crimean Beech Forests (Ukraine) Primeval Beech Forests // International Conference (Lviv, 2-9 June, 2013). P.102.

60. Kondratyuk S.Ya., Khodosovtsev A.Ye., Zelenko S.D. The Second Checklist of Lichens Forming, Lichenicolous and Allied Fungi of Ukraine. Kiev:

Phytosociocentre, 1998. 180 p.

61. Kondratyuk S.Ya., Popova L.P., Lackovičová A., Pišút I. A catalogue of the Eastern Carpathian Lichens. Kiev-Bratislava: M.H. Kholodny Institute of Botany, 2003. 264 p.

62. Malíček, J., Palice, Z., Acton, A., Berger, F., Bouda, F., Sanderson, N. & Vondrák, J. 2018. Uholka primeval forest in the Ukrainian Carpathians – a keynote area for diversity of forest lichens in Europe. *Herzogia*. 2018. 43 Vol. 31. P. 140-171.

63. Smith C.W. et al. The lichens of Great Britain and Ireland. The British Lichen Society, London, 2009. 1009 p.

64. Vondrak J., Palice Z., Khodosovtsev A., Postoyalkin S. V. Contribution to the diversity of rare or overlooked lichens and lichenicolous fungi in Ukrainian Carpathians. *Чорноморськ. ботан. ж.* 2010. Т.6, №1. 6–35.

65. Vondrák J, Malíček J, Palice Z, Bouda F, Berger F, Sanderson N, Acton A, Pouska V, Kish R. 2018. Exploiting hot-spots; effective determination of lichen diversity in a Carpathian virgin forest // *PLoS ONE*. 2018.