МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту:

Зав. кафедрою, доцент
_____ Ольга ВАСИЛЕНКО
«____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

# Тема роботи «БІОМОНІТОРИНГ УРБОЕКОСТЕМИ М. ЖАШКІВ»

Виконав – студент 4 курсу, групи 41з-ек
Освітньої програми «Екологія»
Спеціальності Е2 «Екологія»
СКАРАЄВ Дмитро Юрійович
Керівник – канд. с.-г. наук, доцент Василенко О.В.

Умань – 2025 року

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП…….....…….....3
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОІНДИКАЦІЇ З МЕТОЮ ОЦІНКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА (огляд літератури)……..6
1.1. Поняття про біоіндикацію ……6
1.2. Ліхеноіндикація ……..……...…9
1.3. Фітоіндикація водойм як метод оцінки екологічного стану……12
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ……..……..14
2.1. Умови території проведення досліджень ……..14
2.2. Об’єкт дослідження.....15
2.3. Методика проведення досліджень…….....17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ……...20
3.1. Оцінка стану атмосферного повітря м. Жашків за допомогою лишайників ……20
3.2. Біомоніторинг водойм м. Жашків …….……..…..22
ВИСНОВКИ…….....28
ПРОПОЗИЦІЇ…….29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..…….....30
ДОДАТКИ……..33

# ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасних умовах глобальної екологічної кризи, пов’язаної зі зростаючим антропогенним тиском, питання збереження якості навколишнього природного середовища набуває особливої актуальності. Стан атмосферного повітря та водних екосистем є ключовими показниками екологічної безпеки територій, оскільки саме ці компоненти першими реагують на техногенне забруднення, зміни у землекористуванні, транспортне навантаження та інші чинники впливу людини.

Традиційні методи контролю стану довкілля, засновані на фізико-хімічному аналізі, не завжди дозволяють оцінити довготривалий вплив забруднення або його комплексну дію на живі організми. У зв’язку з цим зростає значення методів біомоніторингу, які базуються на використанні біоіндикаторів – організмів, чутливих до змін у середовищі існування. Зокрема, ліхеноіндикація є ефективним інструментом оцінки якості атмосферного повітря, оскільки лишайники здатні накопичувати забруднювачі та чітко реагують на рівень газових і аерозольних викидів. У свою чергу, фітоіндикація водного середовища, що базується на аналізі стану водної та прибережної рослинності, дозволяє виявити ступінь забруднення водойм органічними речовинами, важкими металами та іншими токсикантами.

Особливої актуальності ці підходи набувають для малих міст і сільськогосподарських регіонів, зокрема для м. Жашків, де інтенсивне землекористування, транспортна інфраструктура та побутові викиди можуть негативно впливати на стан довкілля. У таких умовах біомоніторинг дає можливість отримати об’єктивну оцінку якості повітря та води без значних фінансових витрат, що важливо для територіальних громад і місцевих природоохоронних заходів.

Таким чином, обрана тема є своєчасною та суспільно значущою. Вона поєднує теоретичні аспекти екології з практичними потребами сталого

розвитку, моніторингу та охорони навколишнього середовища на локальному рівні.

**Метою даної роботи** є оцінка екологічного стану навколишнього середовища м. Жашків шляхом застосування методів біомоніторингу, зокрема ліхеноіндикації якості атмосферного повітря та фітоіндикації стану водного середовища. Для досягнення цієї мети передбачено виявлення чутливих біоіндикаторів, аналіз їхнього розповсюдження та реакції на екологічні умови, а також встановлення зв'язку між змінами у біоті та антропогенним навантаженням у межах досліджуваної території.

У ході дослідження були поставлені наступні **завдання**:

1. провести візуальний аналіз лишайникового покриву на вибраних ділянках міста Жашків;

2. розрахувати індексу чистоти за лишайниками (LIC);

3. провести біоіндикацію стану водойм за ряскою малою *(Lemna minor L.)*

4. провести біоіндикацію стану водойм за прибережною рослинністю.

**Об'єкт дослідження** – природні компоненти навколишнього середовища м. Жашків, зокрема атмосферне повітря та водні екосистеми.

**Предмет дослідження** – методи біомоніторингу стану навколишнього середовища з використанням ліхеноіндикації (для оцінки якості повітря) та фітоіндикації (для оцінки якості води) у межах міста Жашків.

**Наукове значення роботи**

Робота розширює уявлення про можливості використання біоіндикаторів у комплексному екологічному моніторингу локальних територій. Запропоновані підходи дозволяють більш точно визначати рівень забруднення довкілля без застосування дороговартісних лабораторних аналізів. Виявлено взаємозв'язок між розподілом біоіндикаторних видів та рівнем антропогенного навантаження в місті Жашків, що сприяє подальшому удосконаленню біоіндикаційних методик.

**Практичне значення роботи**

Отримані результати можуть бути використані місцевими органами влади, природоохоронними структурами та екологічними службами для первинної оцінки стану довкілля, виявлення екологічно небезпечних зон, а також моніторингу ефективності заходів із поліпшення якості повітря та води. Крім того, методичні підходи, використані в роботі, можуть застосовуватися у шкільній та позашкільній екологічній освіті, а також у подальших наукових дослідженнях на регіональному рівні.

**Апробація результатів дослідження** була на VII Міжнародній студентській науковій конференції «Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки» в м. Одеса, 07 лютого 2025 р. (додаток А).

# РОЗДІЛ 1
# ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОІНДИКАЦІЇ З МЕТОЮ ОЦІНКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА
(огляд літератури)

## 1.1. Поняття про біоіндикацію

Останні століття ознаменувалися змінами, що досягли нових масштабів як за якістю, так і за кількістю. Через діяльність людини навколишнє середовище стикається з абсолютно новими речовинами, які раніше не існували (ксенобіотики, багато радіонуклідів), а також із потенційно небезпечними речовинами, що вивільняються в таких кількостях, які раніше були просто немислимими (важкі метали, природні радіонукліди).

Більше того, ці нові стресори зазвичай мають мультиплікативний ефект, тобто додаються до впливу природних факторів або діють у поєднанні між собою, внаслідок чого перевищується «поріг толерантності» здатності організмів справлятися або адаптуватися до них [1].

Протягом останніх 200 років зростання населення Землі та відповідне глобальне збільшення енергоспоживання призвели до різкої зміни природної основи нашого життя. За оцінками Шнайдера (1992), щосекунди зникає близько 1,5 га тропічних лісів — тобто приблизно 2500 квадратних кілометрів щороку. Щодня понад 70 квадратних кілометрів орних земель безповоротно перетворюються на пустелі через нераціональне використання, перевипас худоби та перенаселення [2].

Щодня, за деякими оцінками, з планети зникає від 10 до 100 видів рослин і тварин, і ще більшою проблемою є те, що ми не знаємо, яка точна цифра — 10 чи 100. Так само ми не маємо точного уявлення, скільки загалом існує видів на Землі – один мільйон чи десять мільйонів [3]. Це вказує на загальну інформаційну прогалину щодо чисельності видів.

Більше того, ситуація в майбутньому лише погіршуватиметься. Щодня населення Землі збільшується на 250 000 осіб, понад 40% з яких житимуть у крайній бідності. Щодня в атмосферу викидається 2700 тонн хлорфторвуглеців і 51 мільйон тонн діоксиду вуглецю – і Земля стає трохи теплішою, трохи більш кислою, а рівень ультрафіолетового випромінювання, що проходить крізь атмосферу, зростає [4].

У розвинених країнах використовується велика кількість (хлорованих) пестицидів, а в менш розвинених країнах світу застосовується ще більша, хоча й невідома, кількість таких сполук. Аналіз цих речовин у багатьох країнах проводиться занадто епізодично, щоби робити чіткі висновки про токсичні ефекти для людини та довкілля.

Хімічні речовини становлять найбільше забруднення природних екосистем. Кількість відомих сполук стрімко зросла з розвитком сучасної хімії. Наприклад, з 1970 по 1993 рік кількість речовин, зареєстрованих у Службі хімічних рефератів Американського хімічного товариства, зросла в шість разів – з 2 мільйонів до 12 мільйонів. Якщо припустити лінійний характер цього процесу, це відповідає синтезу близько 1200 нових речовин щодня [5].

Однак лише невелика частина цих сполук виробляється й використовується в таких кількостях, щоб можна було очікувати їх помітного впливу на довкілля. Із 73 000 хімічних речовин, які були на ринку в Німеччині в 1985 році, 312 вироблялися в обсягах понад 10 000 тонн на рік, 2200 — у кількостях 10–100 тонн на рік. Близько 90% загального річного обсягу виробництва хімічної промисловості у світі становить близько 3000 речовин [6].

Тому, організми, популяції, біоценози й, зрештою, цілі екосистеми природно зазнають впливу численних біотичних і абіотичних стресових факторів, таких як коливання клімату, зміни рівня радіації та доступності їжі, взаємини хижак–жертва, паразити, хвороби, а також конкуренція як всередині виду, так і між різними видами. Така стресова ситуація є важливою на кожному рівні біологічної організації.

Отже, здатність реагувати на стресові фактори є важливою характеристикою всіх живих систем, і, навпаки, жоден розвиток виду чи екосистеми загалом не можливий без таких природних стресорів. Стрес – це рушійна сила еволюції. Проте в межах еволюційних епох діапазон змін стресових факторів, як правило, є досить стабільним, що дозволяє видам адаптуватися до змін у навколишньому середовищі [7].

На тлі стрімкого зростання антропогенного навантаження на довкілля виникає потреба у точних, надійних і чутливих інструментах моніторингу стану екосистем. Традиційні фізико-хімічні методи оцінки якості середовища, хоча й важливі, не завжди здатні відобразити довгостроковий вплив чинників забруднення на живі організми. Саме тому все більшого значення набуває використання біоіндикаторів – біологічних систем, які реагують на зміни навколишнього середовища і здатні сигналізувати про рівень його деградації чи відновлення. У наступному розділі розглянемо принципи застосування біоіндикаторів, їхню чутливість до різних видів впливу, а також приклади організмів, які найчастіше використовуються для оцінки стану екосистем [8].

Біоіндикатори включають біологічні процеси, види або спільноти і використовуються для оцінки якості навколишнього середовища та змін, що відбуваються в ньому з часом. Зміни в довкіллі часто зумовлені антропогенними порушеннями (наприклад, забруднення, зміни у використанні земель) або природними стресорами (наприклад, посуха, заморозки пізньої весни), хоча головну увагу в дослідженнях біоіндикаторів приділяють саме антропогенним стресорам [9].

Широке впровадження і застосування біоіндикаторів розпочалося переважно з 1960-х років. З того часу ми значно розширили набір біоіндикаторів для вивчення всіх типів середовищ (тобто водних і наземних), залучаючи всі основні таксономічні групи.

Однак не всі біологічні процеси, види чи спільноти можуть успішно виконувати роль біоіндикаторів. Фізичні, хімічні та біологічні фактори (наприклад, субстрат, світло, температура, конкуренція) відрізняються між

середовищами. З часом популяції еволюціонують, розвиваючи стратегії для максимізації росту та розмноження (тобто підвищення пристосованості) в межах певного спектру екологічних умов [10].

Біоіндикаторні види ефективно відображають стан навколишнього середовища завдяки своїй помірній толерантності до екологічної мінливості. Навпаки, рідкісні види або угруповання з вузькою толерантністю часто є надто чутливими до змін або зустрічаються надто рідко, щоб відображати загальну біотичну реакцію. Так само всюдисущі види або угруповання з дуже широкою толерантністю є менш чутливими до змін, які впливають на інші елементи спільноти [11].

Використання біоіндикаторів не обмежується лише одним видом із вузькою екологічною нішею. Цілі спільноти, які охоплюють широкий спектр екологічних толерантностей, також можуть виступати як біоіндикатори. Вони представляють різноманітні джерела даних, що дозволяє оцінити стан довкілля за допомогою біотичного індексу або мультиметричного підходу [12].

## 1.2. Ліхеноіндикація

На сьогодні не існує загальноприйнятого визначення терміна «лишайник». З позицій сучасних уявлень про біологію лишайників, найбільш повно суть цього терміна відображає наступне визначення: «Лишайник – це зазвичай дво- або трьохбіонтна система, до складу якої обов’язково входить міцеліальний мікобіонт, а також позаклітинно розташований по відношенню до мікобіонта одноклітинний або нитчастий фотобіонт (водорість та/або ціанобактерія)» [13].

Основну частину талому майже завжди утворює мікобіонт – лишайниковий гриб, який у 98 % випадків належить до аскоміцетів (*Ascomycota*). Завдяки грибному компоненту фотобіонт захищений від інтенсивного світла, екстремальних температур і, частково, від посухи [14].

Фотосинтезуючі партнери, які складають менш ніж 10 % маси слановища (талому), можуть бути розміщені в одному шарі або рівномірно розподілені. Фотобіонт забезпечує гриб органічним вуглецем (цукри, спирти), який утворюється в процесі фотосинтезу [15].

У випадку ціанолишайників, фотобіонтом яких є ціанобактерії, додатково відбувається фіксація атмосферного азоту. Таким чином, талом лишайника – це стабільна, збалансована симбіотична система, що об'єднує гетеротрофний та автотрофний компоненти [16].

Однак, взаємини всередині талому можуть бути набагато складнішими та багатокомпонентними, наприклад, коли в симбіозі беруть участь кілька видів ліхенофільних грибів. Більше 150 років лишайники вважалися асоціацією одного гриба (зазвичай аскоміцета) з фотосинтезуючим партнером. Інші мікроорганізми, присутні в лишайниках, як-от численні бактерії або додаткові види грибів, довгий час сприймалися як випадкові паразити або ендофіти. Проте гасло «один гриб – один лишайник» рідко ставилося під сумнів [17].

Однак було виявлено, що в складі більшості кущистих і листоватих лишайників, крім аскоміцета і фотобіонта, присутній третій компонент – дріжджоподібний базидіоміцет [18]. Його клітини розташовані в зовнішній частині верхнього коркового шару, і саме їх кількість може впливати на морфологію лишайника. Ці дріжджі-базидіоміцети знайдені в багатьох лишайниках, поширених по всьому світу – на шести континентах.

Симбіотична природа лишайників дозволила їм бути «піонерами» у біоценозах, заселяючи несприятливі умови: відкриті не захищені поверхні – скелі, стовбури і гілки дерев, ґрунт. Вони здатні витримувати екстремальні умови середовища – пустелі, високогір'я, полярні області [19].

Водночас така складна симбіотична система зробила лишайники надзвичайно чутливими до змін. На відміну від спорових та судинних рослин, лишайники не мають кутикули, тому полютанти можуть вільно проникати в гіфи гриба та клітини фотобіонта. Необхідні речовини для життєдіяльності

симбіонтів поглинаються всім таломом, причому цей процес неконтрольований [20].

Крім того, лишайники мають низьку швидкість росту, а отже, процеси регенерації після пошкоджень відбуваються повільно. Вони також не припиняють життєдіяльності навіть за низьких температур, через що легко ушкоджуються взимку [21].

Розвиток промисловості на межі XIX–XX століть призвів до значного забруднення атмосферного повітря, що зумовило зміну видового складу епіфітної ліхенофлори, аж до повного зникнення лишайників з урбанізованих територій. Це було пов'язано як із прямим впливом полютантів на біохімічні та фізіологічні процеси в лишайниках, так і з непрямим впливом – через зміну фізико-хімічних параметрів субстрату [22].

Забруднення повітря оксидами вуглецю, сірки, азоту, а також випадання кислотних опадів призвели до зміни pH кори дерев. Так, наприклад, кислотність кори дерев, що зазвичай мала нейтральне або субнейтральне значення в природних умовах, знизилася настільки, що стала придатною для ацидотолерантних видів, таких як *Lecanora conizaeoides* Nyl. ex Cromb. [23].

Крім того, в міських умовах різноманіття нейтрофільних видів скоротилося до кількох представників родів *Physcia* (Schreb.) Michaux та *Parmelia* Ach. [24].

У останній чверті XX століття концентрації кислотних забруднювачів в атмосфері почали знижуватися завдяки зростанню технічного рівня очищення викидів. Водночас вплив евтрофікуючих сполук (хімічно активних форм азоту) зростав. Зменшення впливу кислотних забруднювачів супроводжувалося зростанням вмісту хімічно активних форм азоту, що підвищувало pH кори та створювало так званий «ефект удобрення», який сприяв поширенню нітрофільних видів (*нітрофітів*) [25].

Протягом короткого періоду ацидофільні види в містах демонстрували ознаки відновлення, коли значення pH кори почали зростати. Проте це явище швидко нівелювалося, оскільки частина ацидофітів не переносить високий

вміст азоту та конкуренцію з боку нитрофітів. З цієї причини з кінця XX століття спостерігається стале зменшення кількості ацидофітів у районах з високим рівнем осадження азотних сполук.

У результаті нитрофільні види отримали конкурентну перевагу в колонізації урбанізованих територій, пропорційно зменшенню впливу кислотних забруднень і збільшенню концентрації евтрофікуючих речовин у повітрі [26].

Таким чином, наприкінці XX століття у містах відбулося якісне і кількісне переформатування спектру атмосферних забруднювачів: знизилися концентрації діоксиду сірки та зросли рівні евтрофікуючих сполук.

## 1.3. Фітоіндикація водойм як метод оцінки екологічного стану

Фітоіндикація є дієвим інструментом біомоніторингу стану водних екосистем, що базується на вивченні реакції рослинних організмів на зміни довкілля. Завдяки високій чутливості до змін фізико-хімічних параметрів середовища, водна рослинність виступає надійним індикатором як природних, так і антропогенних факторів впливу [27].

До основних об'єктів фітоіндикації у водоймах відносяться макрофіти (вищі водні рослини), мікроводорості та представники прикріпленої флори. Особливо часто у дослідженнях використовуються індикаторні властивості діатомових, зелених та синьо-зелених (ціанобактерій) водоростей. Їхня присутність, кількісне співвідношення між видами, домінування окремих таксонів або повна відсутність певних груп дають змогу достовірно оцінити ступінь забруднення водойми, зокрема у випадках евтрофікації або органічного перенавантаження [28].

Серед макрофітів найбільш показовими з точки зору якості водного середовища є такі види, як ряска (*Lemna spp*.), елодея (*Elodea spp*.), уруть (*Myriophyllum spp*.), водяний горіх (*Trapa natans*) та інші занурені або плаваючі рослини. Наприклад, ряска дрібна (*Lemna minor*) широко застосовується як

тест-об’єкт у фітоіндикаційних дослідженнях, оскільки її ріст істотно пригнічується навіть при незначних концентраціях забруднювальних речовин, таких як важкі метали, пестициди чи феноли [29].

Фітоіндикаційне оцінювання часто передбачає застосування спеціальних індексів, зокрема сапробності (за Pantle-Buck) та індексів трофності, що базуються на флористичних характеристиках рослинного угруповання. Додатково використовуються методи багатофакторного аналізу для встановлення зв’язків між видовим складом фітоценозів та екологічними параметрами водойми – зокрема, pH, прозорістю води, вмістом нітратів і фосфатів [30].

Фітоіндикація є особливо цінною для моніторингу малих річок, ставків та прибережних екосистем, де рослинні угруповання мають тісні взаємозв’язки з іншими складовими біоценозу. На відміну від суто хімічного аналізу, цей метод дозволяє простежити довготривалий вплив забруднювачів, фіксуючи його наслідки навіть після зменшення концентрацій шкідливих речовин у воді [31].

Таким чином, фітоіндикація посідає важливе місце в системі екологічного моніторингу, оскільки дає змогу своєчасно виявляти зміни в екологічному стані водойм, ідентифікувати джерела антропогенного навантаження та контролювати ефективність природоохоронних заходів. У подальших розділах буде детально проаналізовано застосування фітоіндикаційного підходу на прикладі водойм м. Жашків із залученням даних про прибережну рослинність.

# РОЗДІЛ 2
# УМОВИ, ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 2.1. Умови території проведення досліджень

Місто Жашків розташоване в центральній частині України, на південному заході Черкаської області. Координати: приблизно 49°15′ північної широти та 30°06′ східної довготи. Населений пункт є адміністративним центром Жашківської міської територіальної громади Уманського району. Через місто проходить важлива автомагістраль міжнародного значення (траса М05 Київ–Одеса), що суттєво впливає на рівень техногенного навантаження в межах міста та прилеглих територій.

Територія міста лежить у межах Придніпровської височини, на межі Лісостепової зони. Рельєф переважно рівнинний з незначними коливаннями висот, характерний для центральної частини України.

Клімат у місті Жашків – помірно континентальний з чітко вираженими сезонами. Зими помірно холодні, з середньою температурою січня близько -5°C, а літо – тепле, іноді спекотне, із середньою температурою липня +20…+23°C. Річна кількість опадів становить приблизно 550–600 мм, причому найбільша їхня кількість припадає на літній період (травень–липень), що є типовим для цієї кліматичної зони.

Такі умови сприяють розвитку широкого спектру рослинності, зокрема як природного, так і агрокультурного типу, а також забезпечують стабільне функціонування водойм, які виступають потенційними об’єктами біомоніторингу.

На сучасному етапі екологічна ситуація в місті Жашків є типовою для невеликих міст із розвиненою інфраструктурою та наявністю транспортного вузла. Основними джерелами антропогенного навантаження виступають:

- Автотранспорт – траса міжнародного значення М05 є постійним джерелом викидів у повітря (окисли азоту, вуглецю, важкі метали, сажа), що

створює зони підвищеного забруднення на узбіччях та у місцях накопичення транспорту.

- Житлова забудова та комунальна інфраструктура – каналізаційні стоки, несанкціоноване сміттєзвалище, локальні джерела викидів (опалення, зливова каналізація).
- Сільськогосподарська діяльність – поля, що оточують місто, інтенсивно удобрюються, використовуються пестициди та агрохімікати, що частково змиваються до водойм, зокрема після злив.

Окремої уваги заслуговує стан водних об’єктів, що розміщені в межах та навколо міста. Вони часто піддаються евтрофікації, забрудненню органічними та хімічними речовинами, особливо у районах із активним рекреаційним або господарським використанням.

Разом із тим у місті зберігаються зелені зони – міський парк, прибережні насадження, околиці з фрагментами природної лісової рослинності, які позитивно впливають на мікроклімат, слугують буферами для поширення забруднення та виступають індикаторами екологічного стану.

## 2.2. Об’єкт дослідження

Для оцінки стану атмосферного повітря на території Жашкова було обрано метод біомоніторингу з використанням лишайників — природних індикаторів якості повітря, які чутливо реагують на забруднення, зокрема на вміст оксидів сірки, азоту, важких металів.

Об’єктом дослідження є лишайникове угруповання на території м. Жашків, представлене епіфітними видами, що зростають на корі дерев у різних зонах міста, яке використовується для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря шляхом ліхеноіндикації.

Лишайники є надзвичайно чутливими до забруднення атмосферного повітря, особливо до таких забруднювачів, як:

- діоксид сірки ($SO_2$),

- важкі метали (свинець, кадмій, ртуть тощо),
- озон, оксиди азоту, аміак, формальдегіди,
- пилові частинки та сажа.

Вони не мають кореневої системи, поглинають речовини безпосередньо з повітря разом з вологою, що робить їх ідеальними біоіндикаторами якості повітря.

Також у межах дослідження для біоіндикаційної оцінки стану навколишнього середовища м. Жашків було обрано кілька водойм та прибережних ділянок, які суттєво відрізняються за рівнем антропогенного навантаження, типом використання території та станом прилеглих екосистем. Основними критеріями вибору об’єктів стали наявність прибережної рослинності, доступність для спостереження, а також потенційна чутливість до забруднення.

Об’єкт 1. Став біля траси Київ–Одеса (в’їзд до м. Жашків). Ця водойма розташована поблизу траси М05 та зазнає постійного впливу транспортного забруднення. Відзначається щільним заростанням очеретом (*Phragmites australis*) та рогозом (*Typha spp.*), іноді з включеннями кропиви на берегах. Вода має ознаки евтрофікації – зеленуватий відтінок, нерідко спостерігаються цвітіння водоростей. Цей об’єкт виступає зоною з високим техногенним навантаженням.

Об’єкт 2. Міський парк (декоративне озеро). Розташований у рекреаційній зоні, цей водний об’єкт є частиною паркової інфраструктури. Тут фіксується помірне рекреаційне навантаження: прогулянки, присутність відвідувачів, обриси берегової лінії змінені штучно. Рослинність представлена м’ятою водяною (*Mentha aquatica*), осокою (*Carex spp.*), місцями – хвощем. Забруднення переважно органічного походження, сліди каналізаційних або дощових стоків не виявлено. Стан екосистеми оцінюється як стабільний із локальними порушеннями.

Об’єкт 3. Водойма за житловою забудовою. Невеликий став, розташований між житловими кварталами та приватними господарствами.

Територія активно використовується населенням для побутових потреб, у тому числі миття автомобілів, поливу. На берегах росте очерет, лепешняк, болотноцвіт (*Alisma plantago-aquatica*), що є індикаторами аграрно-побутового забруднення, зокрема фосфатів та залишків миючих засобів. Вода мутна, зниження прозорості свідчить про надлишок органіки та надходження біогенів.

Об’єкт 4. Лісова водойма (околиці Жашкова). Розташована за межами міської забудови, у зоні з мінімальним антропогенним втручанням. Береги вкрита природною рослинністю: м’ята, осока, верба. Відсутність ознак евтрофікації, прозора вода, наявність водяних безхребетних свідчать про високий екологічний стан водойми. Цей об’єкт слугує контрольною точкою для порівняльного аналізу.

## 2.3. Методика проведення досліджень

Для оцінки стану атмосферного повітря на території Жашкова було обрано метод біомоніторингу з використанням лишайників – природних індикаторів якості повітря, які чутливо реагують на забруднення, зокрема на вміст оксидів сірки, азоту, важких металів.

Дослідження проводилось методом лишайникового індексу чистоти (LIC – Lichen Indication Criterion) [32]. Було вибрано 8 точок спостереження: 4 – у межах міста на різній відстані від автомагістралі (100 м, 300 м, 600 м, >1000 м), 2 – у житловій забудові, 1 – у парковій зоні, 1 – у передмісті (контрольна зона).

На кожній точці на стовбурах дерев (висота ~1.5 м) було зафіксовано наявність і видове різноманіття лишайників. За шкалою LIC обраховувався індекс чистоти повітря.

Lichen Indication Criterion (LIC) – це кількісний показник, що дозволяє оцінити якість атмосферного повітря на основі наявності та кількості видів епіфітних лишайників, які мають різну чутливість до забруднення. Метод базується на припущенні, що чим вища різноманітність лишайників, особливо чутливих до забруднення, тим чистіше повітря.

Обладнання та умови:

- Площа дослідження: вибирається кілька ділянок (наприклад, узбіччя дороги, парк, центр міста, передмістя).
- Субстрат: зазвичай кора дерев, бажано однакового виду (липа, тополя, клен тощо).
- Інструменти: бланк обліку, визначник лишайників, лінійка або шаблон 10×10 см.

На кожній ділянці відбирається 5 дерев, на яких обстежується лишайниковий покрив. Висота оцінки: 1.5 м від землі на стороні стовбура, не закритій густою тінню. Визначають усі види епіфітних лишайників, які ростуть у межах квадрату 10×10 см або на певній площі стовбура. Кожному виду лишайника присвоюється індикаторна цінність (*екологічний бал*), яка відображає його чутливість до забруднення повітря.

Використовується формула:

$$\mathbf{LIC} = \sum_{i=1}^{n} B_i$$

Де $B_i$ – бал кожног о з виявлених видів лишайників, n – кількість видів, знайдених на ділянці.

**Інтерпретація результатів**

| **Значення LIC** | **Клас чистоти повітря** | **Екологічна оцінка** |
|---|---|---|
| 1–2 | Дуже низький | Атмосфера сильно забруднена |
| 3–4 | Низький | Забруднена |
| 5–6 | Середній | Помірне забруднення |
| 7–8 | Високий | Відносно чисте повітря |
| 9–10+ | Дуже високий | Чисте повітря |

Крім того, була проведена біоіндикаційна оцінка стану водних екосистем міста Жашків за допомогою оцінки прибережної рослинності та популяцій ряски, виявити вплив антропогенного навантаження (включно з рекреаційним) на екологічний стан водойм.

Оцінка стану водойм проводилася методом біоіндикації за допомогою:

- стану ряски (*Lemna minor*): колір, щільність покриву, рівень розкладу;
- структури прибережної рослинності: наявність типових індикаторів забруднення (очерет, хвощ, рогіз) або чутливих видів;
- візуальних ознак евтрофікації: мутність, запах, наявність водоростей [32].

# РОЗДІЛ 3
# РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

## 3.1. Оцінка стану атмосферного повітря м. Жашків за допомогою лишайників

З метою оцінки стану атмосферного повітря в межах міста Жашків було проведено візуальний аналіз лишайникового покриву на п’яти різних ділянках, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та віддаленістю від автомагістралі. У кожній точці фіксували кількість виявлених видів лишайників, загальний відсоток покриву, а також проводили візуальну оцінку стану довкілля. Отримані дані наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

**Візуальний аналіз лишайникового покриву на вибраних ділянках міста Жашків**

| № | Місце відбору проб | Відстань від автомагістралі | Кількість видів лишайників | Загальний покрив лишайниками, % | Візуальна оцінка стану |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Узбіччя автомагістралі (в’їзд у місто) | 100 м | 2 | 5% | Високе забруднення |
| 2 | Житлова забудова (південно-західна частина міста) | 300 м | 3 | 10% | Забруднене повітря |
| 3 | Центральна частина міста | 600 м | 5 | 25% | Середній рівень забруднення |
| 4 | Міський парк | >1000 м | 7 | 40% | Помірно чисте повітря |
| 5 | Передмістя (контрольна точка) | >1500 м | 9 | 55% | Чисте повітря |

Як видно з таблиці, найменше видове різноманіття лишайників (2 види) та мінімальний покрив (5%) спостерігаються в зоні уздовж автомагістралі на в'їзді в місто (точка 1), що свідчить про високий рівень забруднення атмосферного повітря. Подібна ситуація, хоча й дещо менш виражена, спостерігається і в житловій забудові південно-західної частини міста (точка 2), де виявлено 3 види лишайників з покривом 10%.

У центральній частині міста (точка 3) зафіксовано вже 5 видів лишайників з покривом 25%, що вказує на середній рівень забруднення. Значно краща ситуація спостерігається в міському парку (точка 4) та передмісті (точка 5), де видове різноманіття складає 7 і 9 видів відповідно, а лишайниковий покрив досягає 40–55%. Це вказує на помірно чисте та чисте повітря відповідно, і свідчить про менший вплив антропогенних факторів на ці ділянки.

Для більш об'єктивної оцінки стану атмосферного повітря міста Жашків було проведено розрахунок лишайникового індексу чистоти (LIC – *Lichen Indication of Cleanliness*) на основі даних про видовий склад лишайників у кожній з п'яти дослідних точок. Цей індекс є загальноприйнятим кількісним показником, який відображає ступінь забруднення повітря: чим більше різновидів лишайників виявлено на певній ділянці, тим чистіше там повітря, оскільки лишайники є чутливими індикаторами якості довкілля.

У таблиці 3.2. наведено співвідношення між кількістю зафіксованих видів, розрахованим індексом LIC, відповідним класом чистоти повітря та загальною екологічною оцінкою кожної точки спостереження. Такий підхід дозволяє не лише виявити просторові відмінності в рівнях забруднення, а й проілюструвати значення лишайників як надійного біоіндикатора у системі екологічного моніторингу.

Таблиця 3.2.

**Розрахунок лишайникового індексу чистоти (LIC)**

| № | Місце | Кількість видів | LIC (індекс чистоти) | Клас чистоти повітря | Оцінка екологічного стану |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Узбіччя автомагістралі (в’їзд у місто) | 2 | 2 | Дуже низький | Атмосфера сильно забруднена |
| 2 | Житлова забудова (південно-західна частина міста) | 3 | 4 | Низький | Забруднена |
| 3 | Центр міста | 5 | 6 | Середній | Помірне забруднення |
| 4 | Парк | 7 | 8 | Високий | Відносно чиста |
| 5 | Передмістя (контрольна точка) | 9 | 10 | Дуже високий | Чисте повітря |

Результати біомоніторингу свідчать про явну градієнтність рівня забруднення повітря: чим ближче до автомагістралі – тим нижча видова різноманітність лишайників та менший покрив. Це підтверджує значний вплив автотранспорту на якість атмосферного повітря в межах міста Жашків.

Найгірші показники зафіксовано на точках, що розташовані на відстані до 300 м від автомагістралі. У парку та передмісті рівень забруднення значно нижчий, що підтверджує важливість зелених зон для очищення повітря та формування сприятливого мікроклімату.

## 3.2. Біомоніторинг водойм м. Жашків

У контексті водних екосистем біондикація дозволяє виявляти рівень забруднення водойм, тип антропогенного навантаження, а також загальні тенденції екологічного стану водойми без необхідності проведення складного

лабораторного аналізу. Однією з найефективніших і доступних груп біоіндикаторів є вищі водні та прибережні рослини.

Водяні рослини, такі як ряска (*Lemna minor*), очерет (*Phragmites australis*), рогіз (*Typha spp.*), осока (*Carex spp.*) та інші, мають здатність накопичувати у своїх тканинах токсичні речовини, важкі метали, біогенні елементи. Їхня присутність, чисельність, фізіологічний стан і видове різноманіття чітко відображають якість водного середовища. Наприклад, ряска дуже чутлива до змін вмісту поживних речовин, рівня кисню та забруднення органікою: при надмірному надходженні фосфатів вона швидко розростається, утворюючи густий покрив, що є типовою ознакою евтрофікації водойми.

Прибережна рослинність також відіграє важливу роль у водній екосистемі, виступаючи не лише індикатором стану води, а й бар'єром, який зменшує надходження забруднень. Різке зменшення видової різноманітності або переважання стійких до забруднення видів свідчать про деградацію екосистеми. Тому аналіз рослинного покриву уздовж берегів водойм є важливою складовою в оцінці впливу техногенних, рекреаційних та аграрних факторів на стан водного середовища.

Біоіндикація за допомогою водяної рослини ряски (*Lemna minor*) є одним із простих і надійних методів оцінки екологічного стану водойм. Ряска швидко реагує на зміну хімічного складу води, особливо на концентрацію поживних речовин (азоту та фосфору), важких металів, органічних забруднювачів і зміну рівня кисню. У рамках дослідження на чотирьох вибраних водоймах міста Жашків було проведено візуальну оцінку стану популяцій ряски за трьома основними критеріями: щільність покриву, колір та наявність ознак гниття.

Такий підхід дозволив здійснити попередню біоіндикаційну діагностику, що дає змогу виявити не лише ступінь забруднення, а й можливий тип антропогенного навантаження. Узагальнені результати оцінки представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

**Біоіндикація стану водойм за ряскою малою *(Lemna minor L.)***

| № | Локація | Щільність ряски | Колір | Ознаки гниття | Біоіндикаційна оцінка |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Траса (став) | >90% | темно-зелений | є (густий шар слизу) | сильно забруднена |
| 2 | Парк | 60–70% | світло-зелений | відсутні | помірне забруднення |
| 3 | За житловим масивом | 80% | жовтувато-зелений | частково | агрозабруднення |
| 4 | Лісова водойма | <20% | зелений | відсутні | чиста водойма |

Таким чином, результати біомоніторингу підтверджують ефективність використання ряски та прибережної рослинності як чутливих біоіндикаторів для первинної оцінки стану водойм. Проведене дослідження підкреслює важливість впровадження подібних методик для постійного екологічного контролю та планування природоохоронних заходів у межах міста та його околиць.

На основі аналізу видового складу прибережної рослинності можна зробити такі висновки. Техногенне забруднення (дороги, міські зливи): підвищений вміст важких металів, нафтопродуктів, нітратів індикується очеретом, рогозом, кропивою. Рекреаційне забруднення: органіка, зменшення видового різноманіття, ущільнення ґрунту – сигналізують хвощ, осока. Агрозабруднення: фосфати, пестициди, нітрати, зменшення кисню у воді – вказують очерет, болотноцвіт. Чисті водойми: присутність м’яти, осоки, верби – свідчить про стабільність екосистеми, природний характер водойми.

Таблиця 3.4.

**Біоіндикація водойм м. Жашків за прибережною рослинністю**

| № | Локація | Основні рослини | Можливі хімічні забруднювачі | Пояснення |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Траса (став) | Очерет, рогіз, кропива | Нітрати, фосфати, важкі метали (Pb, Zn, Cd), нафтопродукти | Очерет звичайний (*Phragmites australis*) та рогіз (*Typha spp*.) добре ростуть у забруднених, застійних водах з високим вмістом органіки та біогенів. Їх домінування свідчить про евтрофікацію водойми. Кропива (*Urtica dioica*) на узбережжі – показник підвищеного вмісту азоту, зокрема нітратів, що потрапляють із дорожніми або зливовими стоками. Також можливе забруднення важкими металами, які накопичуються у вегетативній масі очерету. |
| 2 | Парк | Осока, хвощ, лепешняк | Помірне забруднення органікою, амоній, фосфати | Осока (*Carex spp*.) та лепешняк (*Glyceria*) часто трапляються у водоймах з помірним рівнем забруднення – зокрема, стічними водами побутового походження. Хвощ польовий (*Equisetum arvense*) може накопичувати важкі метали (Fe, Zn), але у випадку парку більше вказує на ущільнення ґрунту та періодичні рекреаційні впливи, ніж на критичне хімічне забруднення. |
| 3 | За житловим масивом | Очерет, болотноцвіт | Фосфати, пестициди, залишки агрохімікатів | Очерет вказує на евтрофікацію, але в контексті агровпливу – з полів потрапляють фосфати, нітрати, гербіциди та інші залишки пестицидів. Болотноцвіт (*Alisma plantago-aquatica*) – типова рослина для |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | водойм з високим вмістом біогенних елементів, може вказувати на хронічне агрозабруднення, що надходить з дренажних каналів або під час дощів. |
| 4 | Лісова водойма | М’ята, осока, верба | Відсутність забруднення або незначне | М’ята болотна (*Mentha aquatica*), верба (*Salix spp.*) та осока свідчать про стабільний гідрологічний режим, нормальний обмін речовин у водоймі, відсутність виражених хімічних забруднень. У разі появи токсичних речовин ці рослини або зникають, або пригнічуються. Їх присутність є індикатором чистої води або дуже слабкого антропогенного впливу. |

Отже, проведений біоіндикаційний аналіз водойм міста Жашків засвідчив наявність просторової неоднорідності екологічного стану водних екосистем залежно від ступеня антропогенного навантаження. Найбільше забруднення зафіксовано у водоймі, розташованій поблизу автомагістралі, що зумовлено прямим надходженням забруднювачів зі стічних вод, а також зносу пилу та важких металів із транспортного потоку.

У міському парку спостерігається помірне забруднення води, спричинене переважно рекреаційною діяльністю, що, хоча й не є високотоксичною, однак порушує природну рівновагу водойми через сміття, витоптування берегової рослинності та локальну евтрофікацію.

У водоймі, розташованій у зоні сільськогосподарського використання, виявлено ознаки надходження агрохімікатів, зокрема, нітратів і фосфатів, про що свідчить активне розростання ряски та домінування стійких видів прибережної флори.

Найкращий екологічний стан води зафіксовано у віддаленій лісовій водоймі, де антропогенний вплив є мінімальним, а біоіндикаторні показники свідчать про добру якість води та стабільність водного середовища.

Загалом, результати біомоніторингу свідчать про значну залежність стану водної екосистеми від характеру навколишнього середовища та виду антропогенного навантаження. Найгірші показники виявлено у водоймі біля траси, що страждає від забруднення дорожніми стоками. Водночас у лісовій водоймі стан води залишається відносно стабільним і природним. Рекреаційні водойми демонструють середній рівень забруднення, однак мають тенденцію до погіршення при відсутності належного догляду. Біоіндикація за допомогою ряски та прибережних рослин виявилася ефективним методом первинної оцінки екологічного стану водойм.

# ВИСНОВКИ

1. Стан атмосферного повітря м. Жашків суттєво залежить від відстані до джерел забруднення, зокрема автомагістралі. Біоіндикація за допомогою лишайників виявила градієнт забруднення: від сильно забрудненого повітря поблизу дороги до чистого – у передмісті.

2. Найгірший екологічний стан атмосферного повітря спостерігається на ділянках, розташованих на відстані до 300 м від автомагістралі, де виявлено найменше лишайників як за видовим складом, так і за щільністю покриву.

3. Лишайниковий індекс чистоти (LIC) виявився ефективним методом для кількісної оцінки стану повітря в місті. Значення індексу варіювалися від 2 (дуже низька чистота) до 10 (дуже висока чистота).

4. Стан водойм м. Жашків є просторово неоднорідним: найбільше забруднення зафіксовано у водоймі поблизу автомагістралі, де спостерігається щільний покрив ряски з ознаками гниття та переважання стійких до забруднення видів прибережної флори.

5. Рекреаційні водойми (міський парк) демонструють помірний рівень забруднення, пов’язаний із впливом людської діяльності: витоптування, сміття, порушення берегового покриву.

6. Агрозабруднення виявлено у водоймі біля житлового масиву поруч із сільськогосподарськими угіддями. Біоіндикація засвідчила наявність фосфатів, пестицидів і нітратів.

7. Найбільш екологічно стабільна водойма — лісова, де рослинний покрив вказує на відсутність виражених забруднень.

8. Біоіндикація за допомогою ряски та прибережних рослин підтвердила свою ефективність як доступний, простий і наочний метод первинного моніторингу стану довкілля без потреби у складному обладнанні.

# ПРОПОЗИЦІЇ

1. Збільшити кількість зелених насаджень у центральній частині міста та поблизу автомагістралей для зниження рівня забруднення повітря та покращення мікроклімату.

2. Регулярно проводити біомоніторинг стану атмосферного повітря з використанням лишайників як індикаторів, що дозволить оперативно реагувати на погіршення екологічної ситуації.

3. Облаштувати прибережні захисні смуги навколо водойм із природної рослинності для фільтрації забруднювальних речовин і зміцнення берегів.

4. Забезпечити контроль за рекреаційним навантаженням на водойми, особливо в парках, шляхом впорядкування зон відпочинку, встановлення смітників та інформаційних табличок.

5. Обмежити стік агрохімікатів у водойми шляхом створення буферних зон між полями та водними об’єктами, а також через екологізацію агровиробництва.

6. Запровадити локальну програму екологічного моніторингу, що включатиме біоіндикаційні дослідження повітря та води як інструмент підтримки сталого природокористування на території міста Жашків.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ашихміна Т.Я. Біоіндикація та біотестування − методи пізнання екологічного стану навколишнього середовища. К: Знання, 2011. 450 с.

2. Gaston K.J. Biodiversity: higher taxon richness. *Progress in Physical Geography*, 2020. 24. P. 117−127.

3. Karr J. P., Chu E.W. Biological monitoring and assessment: using multimetric indexes effectively EPA 235-R97-001, University of Washington, Seattle, 2020. 149 p.

4. Riiters K.H., Law B.E., Kucera R.C., Gallant A.L., Dc Velice R.L. Palmer C.J. A Selection of Forest Condition Indicators for Monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019. 20. P. 21−33.

5. Hilty J., Merenlender A. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, 2020. 92. P. 185−197.

6. Глухов О. З., Прохорова С. І. Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин. *Промислова ботаніка*. 2008. С. 3–4.

7. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. Моніторинг довкілля: підр. для студ. вищих навч. закладів. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця: ВНТУ, 2010. 232 с.

8. Гончаренко І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження: монографія. Дніпро: Середняк Т.К., 2017. 127 с.

9. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. 344 с.

10. Чухрій Ю.П. Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг. Конспект лекцій. Одеса: ОНАХТ, 2014. 41 с.

11. Nykytiuk P. Phytoindication: basic diagnostic characteristics and approaches. *Danish Scientific Journal*, 2021. №35. P. 5–9.

12. Колесник Ю. С., Федак В. С. Методичні особливості флуоресцентного фітомоніторингу довкілля міста. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016. С. 129–134.

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

14. Пузік В.К., Гловань Л.В. Сучасні методи моніторингу та захисту довкілля: навчальний посібник. Харків: ХНАУ, 2016. 168 с.

15. Шершова Н.В. Поширення чутливих до стану атмосферного повітря лишайників в малих містах Київської області. *Укр. бот. журн*., 2016. 73(1). С. 56–60.

16. Кондратюк С.Я., Мартиненко В.Г. Ліхеноіндикація. Кіровоград: ТОВ "Код", 2006, 260 с

17. Will-Wolf S., Jovan S., Amacher M. C. Lichen elemental content bioindicators for air quality in upper Midwest, USA: A model for large-scale monitoring. *Ecological Indicators*. 2022. V. 78. P. 253–263.

18. Samsudin M.W., Din L., Zakaria Z., Latip J., Lihan T., Jemain A.A. Measuring Air Quality using Lichen Mapping at Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Campus Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2021. V. 59. P. 635–643.

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

20. Ponmurugan P., Ayyappadasan G., Verma R.S., Nayaka S., Ayyappadasan G. Survey, distribution pattern and elemental composition of lichens in Yercaud hills of Eastern Ghats in southern India. *Journal of Enviromental Biology*. 2021. V. 37. P. 407–412.

21. Шершова Н.В. Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря у смт. Гостомель Київської області. *Укр. бот. журн*., 2017а. 74(2). С. 148–153.

22. De Sloover J., Le Blanc F. Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity. Varanasi, 2023. P. 42–56.

23. Царик Л.П., Грицак Л.Р., Царик П.Л., Вітенко І.М., Каплун І.Г., Гінзула М.Я. Прикладна екологія:навчальний посібник. Частина І. Біоекологічний та геоекологічний виміри. Тернопіль: Редакційно-видавничий відділ ТНПУ, 2017. 250 с.

24. 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.

25. 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.

26. Клименко В.М. Ліхеноіндикаційна оцінка змін якості атмосферного повітря міста Херсона за 20 років. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2015. Том 11, №4. 21 с.

27. Hellawell J.M. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. In, Pollution Monitoring Series, K. Mellanby (ed). Elsevier Applied Science Publishers, London, UK. 2021. 546 p.

28. Агурова І. В., Прохорова С. І. Моніторинг стану рослинного покриву техногенних земель: популяційний та морфологічний аспекти. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2014. С. 249–262.

29. Шанда В.І., Євтушенко Е.О., Ворошилова Н.В., Шанда Л.В., Маленко Я.В., Кобрюшко О.О. Теоретичні проблеми біогеоценології: колективна монографія. Кривий Ріг: Видавець Чернявський Д.О., 2020. 330 с.

30. Kashian D.R., Burton T.M. A comparison of macroinvertebrates of two Great Lakes coastal wetlands: testing potential metrics for an index of ecological integrity. *Journal of Great Lakes Resources*, 2020. 26. P. 460–481.

31. Гончаренко І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження: монографія. Дніпро: Середняк Т.К., 2017. 127 с.

32. Вікторов С. В., Ремезова Г. Л. Індикаційнна геоботаніка, 1988. 167 с.

# ДОДАТКИ