

ЛІХЕНОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

Мельник-Шамрай В.В., Давидова І.В., Курбет Т.В., Дідківська Ю.А.,
Дем'янчук В.І., Марчук К.О.

Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
org_vvm@ztu.edu.ua

У статті представлено результати ліхеноіндикаційної оцінки стану атмосферного повітря в урбанізованому середовищі міста Житомир. Дослідження проводилися на восьми пробних ділянках, закладених у різних функціональних зонах міста з урахуванням рівня транспортного навантаження. Оцінювання якості повітря здійснювали за допомогою індексу чистоти повітря (ІЧП) Ле Блана та Де Слооверана основі аналізу видового складу, частоти покриття-трапляння та проективного покриття епіфітних лишайників. Найбільша кількість накипних і листуватих лишайників зафіксована на липі сердцелистій, березі повислій, сосні звичайній та гіркогоштані звичайному. Куцисті лишайники були відмічені виключно на сосні звичайній. Відповідно до поширення лишайників деревні породи можна розташувати у зростаючому порядку за кількістю епіфітної ліхенобіоти таким чином: клен звичайний < тополя біла < сосна звичайна < гіркогоштан звичайний < липа сердцелиста < береза повисла. Виявлено чітку просторову диференціацію видового різноманіття лишайників: від 1–5 видів у центральних та транспортно навантажених районах до 8–9 видів на периферії міста. Зафіксовано зменшення видового різноманіття та проективного покриття лишайників у напрямі до центральної частини міста, що свідчить про прояв «міського ефекту» та формування зон із підвищеним рівнем антропогенного впливу. За результатами розрахунку індексу чистоти повітря у межах міста виділено чотири ізотоксичні ліхеноіндикаційні зони. До сильно забрудненої зони (ІЧП = 1,0–4,9) віднесено дослідні ділянки № 5, № 7 та № 8. Середньо забруднена зона (ІЧП = 5,0–9,9) представлена окремими осередками на вулицях Покровській (ділянка № 4) та Івана Гонти (ділянка № 6). Слабко забруднена зона (ІЧП = 10,0–14,9) характерна для дослідної ділянки № 1, тоді як незабруднена зона (ІЧП = 15 і більше) зафіксована на ділянках № 2 та № 3. Отримані результати підтверджують тісний зв'язок між станом атмосферного повітря та інтенсивністю антропогенного навантаження, насамперед транспортного. Використання ліхеноіндикації дозволило виявити просторові закономірності забруднення та оцінити кумулятивний вплив поллютантів на міські екосистеми, що робить даний метод ефективним інструментом екологічного моніторингу. *Ключові слова:* ліхеноіндикація, атмосферне повітря, ліхенобіота, еколого-токсикологічний підхід, індекс чистоти повітря, урбанізоване середовище, антропогенне навантаження.

Lichenoindication assessment of atmospheric air condition in an urbanized environment. Melnyk-Shamrai V., Davydova I., Kurbet T., Didkivska Y., Demianchuk V., Marchuk K.

The article presents the results of a lichen indication assessment of the atmospheric air quality in the urban environment of the city of Zhytomyr. The study was conducted at eight sampling sites established in different functional zones of the city, taking into account the level of traffic load. Air quality was assessed using the Index of Atmospheric Purity (IAP) proposed by Le Blanc and De Sloover, based on the analysis of species composition, frequency of occurrence, and projective cover of epiphytic lichens. The largest number of crustose and foliose lichens was recorded on Small-leaved Lime (*Tilia cordata*), Silver Birch (*Betula pendula*), Scots Pine (*Pinus sylvestris*), and Horse Chestnut (*Aesculus hippocastanum*). Fruticose lichens were noted exclusively on Scots Pine. According to lichen distribution, tree species can be arranged in increasing order by the quantity of epiphytic lichenobiota as follows: Norway Maple < White Poplar < Scots Pine < Horse Chestnut < Small-leaved Lime < Silver Birch. A clear spatial differentiation of lichen species diversity was revealed: from 1–5 species in central and traffic-loaded areas to 8–9 species on the city outskirts. A decrease in species diversity and projective cover of lichens toward the central part of the city was recorded, indicating the manifestation of the “urban effect” and the formation of zones with an increased level of anthropogenic impact. Based on the calculation of the Index of Air Purity, four isotoxic lichen indication zones were identified within the city. Plots №5, № 7, and №8 were assigned to the heavily polluted zone (IAP = 1.0–4.9). The moderately polluted zone (IAP = 5.0–9.5) is represented by separate pockets on Pokrovska Street (plot №. 4) and Ivan Gonta Street (plot № 6). The weakly polluted zone (IAP = 10.0–14.9) is characteristic of experimental plot № 1, while the unpolluted zone (IAP = 15 and more) was recorded on plots № 2 and № 3. The obtained results confirm a close relationship between the state of atmospheric air and the intensity of anthropogenic pressure, primarily from transport. The use of lichen indication made it possible to identify spatial patterns of pollution and assess the cumulative impact of pollutants on urban ecosystems, making this method an effective tool for environmental monitoring. *Key words:* lichen indication, atmospheric air, lichen biota, ecological and toxicological approach, index of atmospheric purity, urban environment, anthropogenic pressure.



Постановка проблеми. Останніми роками в Україні фіксується істотне зростання антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, що спричиняє глибокі трансформації його структури. Серед численних негативних наслідків особливу увагу привертає стійке локальне забруднення атмосферного повітря – одного з ключових компонентів довкілля, від якості якого безпосередньо залежить здоров'я населення. У 2022 році до переліку актуальних і таких, що загострюються, екологічних проблем України додалася військова агресія. Воєнні дії вплинули на всі складові довкілля – флору і фауну, ґрунтовий покрив, водні ресурси та атмосферу. Наслідки цього впливу матимуть тривалий характер і проявлятимуться не лише на локальному, а й на глобальному рівнях. За таких умов зростає значення та актуальність моніторингових досліджень. Протягом останніх п'ятдесяти років у системі екологічного моніторингу особливе місце посідає біоіндикація, оскільки вона має акумулюючий характер, відображаючи усереднений багаторічний стан екосистем. Проведення повторних досліджень дає змогу простежити динаміку забруднення урбанізованих територій у часі.

Об'єкти біоіндикації повинні відповідати низці вимог, зокрема бути широко поширеними, приуроченими до певних умов існування та мати відносно тривалий життєвий цикл. Лишайники повністю відповідають цим критеріям. Їх використання як індикаторів зумовлене унікальною та високочутливою реакцією на дію стресових чинників. Лишайники є токсикотолерантними організмами, здатними акумулювати значні кількості забруднювальних речовин у слані та формувати характерні угруповання видів. Багато з них демонструють специфічну реакцію на різні типи поллютантів, що дає можливість визначати не лише рівень, а й характер забруднення. Таким чином, як складова біогеоценозів, лишайники відзначаються високою чутливістю до навіть незначних змін довкілля та можуть ефективно використовуватися як індикатори цих змін. На сьогодні розроблено й упроваджується низку ліхеноіндикаційних підходів до оцінювання якості повітря, серед яких одним із найпоширеніших і найбільш інформативних є метод розрахунку екологічних індексів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Охорона довкілля та раціональне використання природних ресурсів є ключовими складовими сталого розвитку України. Особливо актуальними залишаються проблеми забруднення природного середовища в межах урбанізованих територій, що зумовлені діяльністю промислових підприємств і транспортної інфраструктури. У цьому контексті біоіндикація посідає важливе місце в системі екологічного моніторингу, оскільки дає змогу оцінювати рівень та динаміку антропогенного навантаження на міські екосистеми.

Численні дослідження засвідчують, що одними з найінформативніших біоіндикаторів стану атмосферного повітря є деревні рослини та лишайники [1, 2]. Висока чутливість лишайників до забруднення пояснюється їх симбіотичною природою, фізіологічними особливостями та безпосереднім контактом з атмосферним повітрям і опадами [3, 4]. Навіть тривала дія низьких концентрацій шкідливих речовин спричиняє незворотні ушкодження талому лишайників, що зумовлено повільним оновленням їх клітин. Особливо тісний зв'язок встановлено між станом ліхенофлори та концентрацією діоксиду сульфуру в повітрі [4, 5]. Окрім цього, лишайники здатні акумулювати важкі метали та реагувати на оксиди Нітрогену, озон, фториди й інші поллютанти навіть за низьких концентрацій [6].

За екологічною приуроченістю лишайники поділяють на епіфітні, епіксільні, епігейні та епілітні, серед яких найбільш чутливими до атмосферного забруднення є епіфітні види [7–10]. За морфологічною будовою виділяють накипні, листуваті та куцисті лишайники, чутливість яких до забруднення зростає у цьому ж порядку. Відсутність куцистих лишайників або збіднення видового складу загалом розглядається як індикатор високого антропогенного навантаження [11]. Зміни у ліхенофлорі під впливом забруднення повітря зумовлені різною чутливістю видів до поллютантів [11, 12]. Виділяють два основні механізми впливу: по-перше, поглинання токсичних речовин таломом із подальшими змінами його хімічного складу (зокрема під дією нітратної та сульфатної кислот); по-друге, руйнування талому без накопичення речовин, особливо під впливом хлорвмісних сполук у поєднанні з кислотами, концентрація яких зростає у вологий зимовий період.

Висока чутливість епіфітних лишайників пояснюється значною площею поглинання, гідрофільністю, довговічністю та здатністю акумулювати поллютанти з атмосферних опадів [13]. Це стало основою концепції лишайникових зон («лишайникова пустеля», «зона змагання», «нормальна зона»), що відображають рівень забруднення повітря [14]. Загалом зі зростанням концентрації забруднювачів зменшуються різноманіття, чисельність і розміри лишайників, а також зростає вміст важких металів у їх тканинах, що дозволило розробити шкали ліхеноіндикаційної оцінки якості повітря.

У роботі [15] оцінювали стан природних екосистем поблизу промислового підприємства ПАТ «Суміхімпром», виокремлюючи ізотоксичні ліхеноіндикаційні зони та демонструючи зміни біоценозів у географічному профілі повітряного забруднення. Дослідники [16, 17] провели комплексну оцінку стану атмосферного повітря в урбанізованих районах Східної України, встановивши кореляції між даними ліхенових індикаторів та інструментальними вимірюваннями. У роботах [19, 20] представлено результати ліхеноіндикаційної оцінки атмос-

ферного повітря в декількох містах Півдня України, описано просторовий розподіл ліхеноіндикаційних зон та порівняння якості повітря між різними урбанізованими ландшафтами. У дослідженні [21] здійснено ліхеноіндикаційну оцінку стану атмосферного повітря м. Васильків (Київська область) на основі аналізу видового складу та просторового поширення епіфітних лишайників. Встановлено диференціацію території міста за рівнем антропогенного навантаження: виділено зони з різним ступенем забруднення повітря, що підтверджує ефективність використання лишайників як біоіндикаторів якості атмосферного середовища.

Узагальнюючи наведені дослідження, слід зазначити, що ліхеноіндикація є ефективним та інформативним методом оцінки стану атмосферного повітря в умовах різного рівня антропогенного навантаження. Отримані результати свідчать про можливість виділення просторово диференційованих зон забруднення, а також про наявність кореляцій між біоіндикаційними та інструментальними показниками якості повітря. Водночас, незважаючи на значну кількість досліджень у різних регіонах України, питання оцінки стану атмосферного повітря із використанням ліхеноіндикації залишається актуальним для окремих територій, зокрема Житомирської області, де подібні дослідження є обмеженими. Це зумовлює необхідність подальшого вивчення ліхенобіоти як чутливого індикатора змін довкілля та обґрунтовує доцільність проведення відповідних регіональних досліджень.

Метою статті є оцінка стану атмосферного повітря в місті Житомир за допомогою ліхеноіндикаційного методу, визначення рівня антропогенного навантаження та виявлення просторових особливостей забруднення на основі аналізу видового складу, поширення і стану лишайників. Об'єктом дослідження є епіфітні лишайники, що зростають на деревах досліджуваної території та використовуються як індикатори якості атмосферного повітря. Предметом дослідження є якісні та кількісні характеристики лишайникового покриву дерев, а також стан забруднення атмосферного повітря міста Житомир.

Новизна одержаних результатів полягає у проведенні комплексної ліхеноіндикаційної оцінки стану атмосферного повітря міста Житомир, встановленні особливостей просторового розподілу лишайникового покриву в умовах урбанізованого середовища та уточненні залежності між видовим різноманіттям епіфітних лишайників і рівнем антропогенного навантаження. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання результатів дослідження для екологічного моніторингу якості атмосферного повітря в місті Житомир, розробки природоохоронних заходів, а також у освітньому процесі при викладанні екологічних дисциплін.

Методика досліджень. Матеріалами для роботи слугували описи лишайникових угруповань на проб-

них ділянках та власні ліхенологічні збори, здійснені впродовж 2024–2025 рр. Всього на території міста було закладено 8 пробних ділянок, на яких за маршрутним методом досліджено близько 80 дерев різних видів. Для проведення дослідження було обрано такі деревні види: липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), тополя біла (*Populus alba* L.), клен звичайний (*Acer platanoides* L.), береза повисла (*Betula* sp.), гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*). Для ідентифікації видів лишайників використовували низку визначників і монографій [11, 22].

Дослідження лишайникового покриву здійснювали на прямостоячих, добре освітлених деревах, переважно з південного боку стовбура. Для кожного дерева проводили опис епіфітних лишайників у прикореневій частині стовбура та на висоті 60–130 см. Площа облікової ділянки становила 10×10 м, у межах якої для біоіндикаційних спостережень відбирали 10 старих, здорових, поодинокі розташованих дерев. Дослідження виконували відповідно до методики [11]. Проективне покриття лишайників на пробних майданчиках визначали методом «лінійних перетинів» із подальшим обчисленням середніх значень для досліджуваної території. У роботі використовували прозору палетку розміром 10×10 см, поділену на квадрати площею 1 см², за допомогою якої оцінювали ступінь покриття поверхні стовбура лишайниками. Під час прикладання рамки до стовбура підраховували кількість повних і частково заповнених квадратів, зайнятих лишайниками (рис. 1).

Для встановлення сучасного рівня забруднення атмосфери цих територій розраховували індекс чистоти повітря Ле Блана та Де Слоовера (ІЧП, або І.А.Р. – від англ. «index of air purity») за формулою [11, 23, 24]:

$$\text{ІЧП} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot f_i}{10} \quad (1)$$

де n – кількість видів лишайників на досліджуваній ділянці, Q_i – екологічний індекс певного i -того виду (або індекс асоційованості чи токсикофобності), а f_i – комбінований показник покриття-потрапляння (проективне покриття i -того виду в балах).

Показник Q_i – середня кількість видів лишайників, виявлених поряд з таким видом на всіх досліджених ділянках у гомогенній за ступенем забруднення території. Чим більший цей показник, тим більше токсикофобний такий вид. Комбінований показник покриття-трапляння (f_i) 10-бальний, визначався за шкалою: 1 – проективне покриття 1–3%; 2 – проективне покриття 3–5%; 3 – проективне покриття 6–10%; 4 – проективне покриття 11–20%; 5 – проективне покриття 21–30%; 6 – проективне покриття 31–40%; 7 – проективне покриття 41–50%; 8 – проективне покриття 51–60%; 9 – проективне покриття 61–80%; 10 – проективне покриття 81–100%.

Таким чином, чим більше проективне покриття лишайників і чим більше видів мешкає на цій ділянці

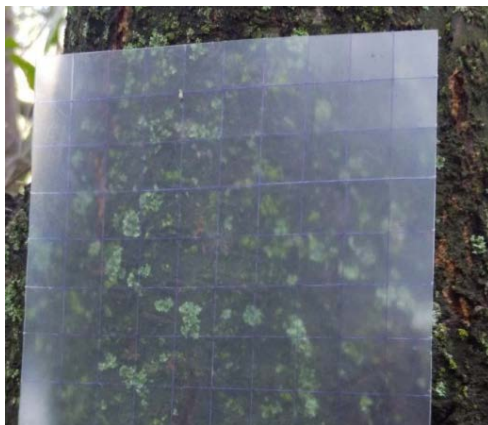


Рис. 1. Встановлення відсотку покриття лишайниками стовбура дерева

місцевості, тим вищий показник ІЧП. і, відповідно, тим чистіше повітря місця перебування. На основі розрахованих індексів (ІЧП.) було виділено ізотоксичні ліхеноіндикаційні зони [11]: 0–0,9 – лишайникова пустеля; 1–4,9 – сильно забруднена зона; 5,0–9,9 – середньо забруднена зона; 10,0–14,9 – слабо забруднена зона; 15 та більше – не забруднена зона.

Дослідні ділянки закладалися по місту з урахуванням різного транспортного навантаження (табл. 1).

Отримані експериментальні дані піддавали статистичній обробці з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2010. Для кількісної

оцінки рівня забруднення атмосферного повітря застосовували класичний індекс чистоти повітря Ле Блана і Де Слоовера (ІАР).

Виклад основного матеріалу. Основними джерелами забруднення повітря в Україні є: автотранспорт, промислові підприємства, енергетичні об'єкти (ТЕС, ТЕЦ), сільськогосподарська діяльність, будівництво та знесення будівель, пожежі, у тому числі спричинені військовими діями [25]. Основними забруднювачами атмосферного повітря за видами економічної діяльності традиційно для Житомирської області залишаються «Сільське, лісове та рибне господарство», «Переробна промисловість», «Добувна промисловість і розроблення кар'єрів», «Транспорт,

Таблиця 1

Порівняльна характеристика дослідних ділянок за умовами антропогенного навантаження

№ ділянки	Локація	Характеристика розташування	Рівень транспортного навантаження	Особливості території
1	проспект Миру	Виїзд з міста, поблизу кінцевої зупинки тролейбусів №2 та №3	Високий	Інтенсивний транспортний потік
2	вул. Чуднівська	Виїзд з міста, зупинка «Гідропарк»	Низький	Паркова зона, обмежений рух транспорту
3	вул. Праці	Околиця міста, район «Соколовський масив»	Дуже низький	Рекреаційна зона
4	вул. Покровська («У баби Іри»)	Міська територія	Середній–високий	Пікові навантаження в години пік
5	вул. Київська («Мар'янівна»)	В'їзд до міста	Високий	Інтенсивний транспортний рух
6	вул. Івана Гонти	Поблизу ПАТ «Житомирський маслозавод»	Середній	Промислова зона
7	вул. Київська («Поліський чай»)	Центральна магістраль міста	Високий	Значне транспортне навантаження
8	вул. Велика Бердичівська («Перша міська лікарня»)	Центральна частина міста	Високий	Інтенсивний рух транспорту

Джерело: створено авторами на основі аналізу територій дослідження

складське господарство поштова та кур'єрська діяльність», обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферу області зазначених галузей склав відповідно 33,47 %, 27,51 %, 14,91 % та 10,28 % [25].

За результатами звітів [25] встановлено, що загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Житомирі у 2024 році оцінювався як низький, а середньорічні концентрації більшості домішок не перевищували середньодобових гранично допустимих концентрацій, за винятком діоксиду азоту. Зокрема, зафіксовано перевищення ГДК для діоксиду азоту, що свідчить про наявність локального антропогенного навантаження, тоді як інші показники залишалися в межах нормативних значень. Отримані дані створюють основу для подальшого дослідження стану атмосферного повітря в місті з використанням біоіндикаційних методів, зокрема ліхеноіндикації, яка дозволяє оцінити кумулятивний вплив забруднення на екосистеми.

З метою уточнення просторових особливостей впливу антропогенного навантаження на міське середовище було проведено ліхеноіндикаційне обстеження деревних насаджень на дослідних ділянках. За результатами обстеження кількох десятків дорослих прямоствоячих дерев на дослідних ділянках було побудовано графік розподілу лишайників на різних деревних породах (рис. 2). Аналіз отриманих даних свідчить, що найчастіше лишайники траплялися на березі та липі, тоді як найменша їх кількість відмічена на клені й тополі. Відповідно, деревні породи за ступенем заселеності лишайниками можна розташувати у такій послідовності (у напрямі зростання кількості): Клен звичайний < Тополя біла < Сосна звичайна < Гірकोкаштан звичайний < Липа серцелиста < Береза повисла. Просторова орієнтація лишай-

никових угруповань також виявила певні особливості: найбільша їх концентрація спостерігалася на східних і південно-східних експозиціях стовбурів.

Відомо, що діяльність промислових підприємств і транспортної інфраструктури призводить до деградації природних біоценозів, унаслідок чого формуються техногенно трансформовані території та геохімічні аномалії. Підвищене навантаження автотранспорту впливає не лише на екосистеми, розташовані безпосередньо поблизу автомагістралей і транспортних вузлів, а й на більш віддалені ділянки. Особливо чутливими до антропогенного впливу є міські паркові зони, де поєднуються риси як прилеглих до джерел забруднення територій, так і відносно віддалених природних осередків. Стан таких екосистем значною мірою визначається інтенсивністю транспортних потоків, метеорологічними умовами, особливостями рельєфу, наявністю потужних промислових об'єктів та відстанню до них. Водночас спільною характеристикою цього впливу є поширення викидів автотранспортних засобів, їх осадження та накопичення шкідливих речовин у ґрунті й рослинних тканинах. Таким чином, використання методів біоіндикації дає змогу ефективно оцінювати вплив автотранспортного комплексу на стан міських екосистем і навколишнє природне середовище.

Ліхеноіндикаційні дослідження проводили в місті Житомир на різних дослідних ділянках, які характеризуються різним впливом автотранспорту (рис. 3). Оцінювання інтенсивності транспортного потоку на автошляхах, розташованих поблизу дослідних ділянок, здійснювали на основі власних польових спостережень. Упродовж періоду з 08:00 до 20:00 проводили підрахунок кількості транспортних засобів.

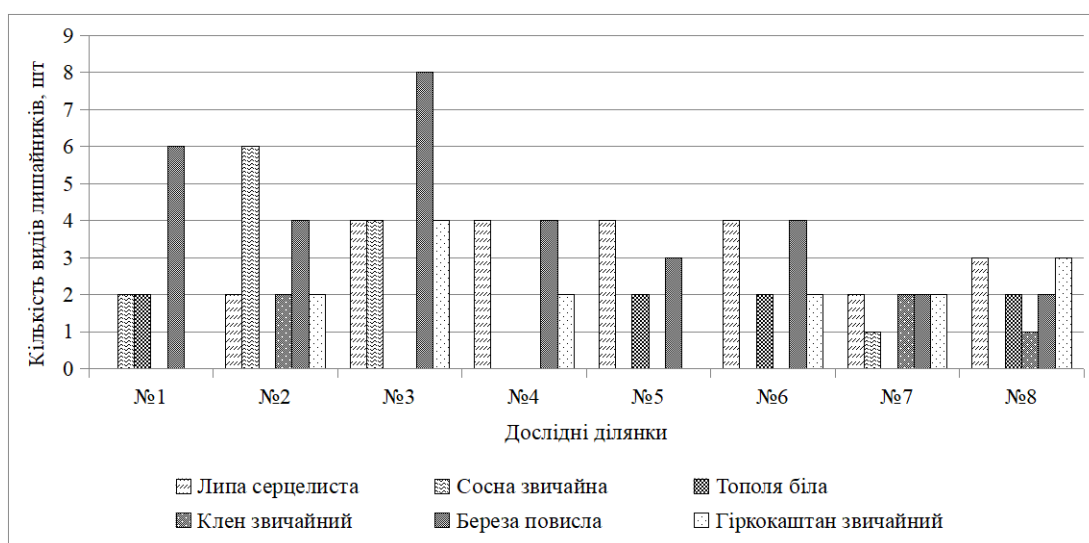


Рис. 2. Співвідношення видів лишайників до видового складу дерев

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

Відомо, що одним із суттєвих чинників негативного впливу на екосистеми є особливості руху автотранспорту, які включають не лише загальну інтенсивність потоку, а й зміну режимів руху транспортних засобів. Часті прискорення та гальмування призводять до істотного зростання обсягів викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, що, у свою чергу, зумовлює підвищене навантаження на природні екосистеми.

Аналіз видового різноманіття епіфітних лишайників у різних районах міста та на його околицях показав значну просторову варіабельність кількості видів у межах окремих пунктів спостережень (у перерахунку на 10 дерев). Так, у північно-західній частині та на більшості східних територій м. Житомир кількість видів на деревах у вуличних насадженнях становить від 1 до 5, тоді як у центральних, північно-східних і південних районах цей показник зростає до 6–7 видів, а на околицях досягає 8–9 видів. Загалом при наближенні від периферійних територій до центральної частини міста спостерігається зменшення видового різноманіття епіфітних лишайників та формування так званих «лишайникових пустель». Таким чином, для Житомира характерне явище збіднення епіфітної ліхенобіоти, відоме як «міський ефект».

Як видно з даних, наведених на рис. 4, на всіх дослідних ділянках домінують накипні та листуваті лишайники, тоді як куцисті трапляються найрідше. На ділянках №5, №6, №7 та №8 частка накипних форм суттєво перевищує кількість листуватих, що свідчить про підвищений рівень забруднення атмосферного повітря на цих територіях. Водночас на ділянках №2 та №3 частка

накипних лишайників є найменшою, а співвідношення листуватих і куцистих форм – приблизно однаковим.

Крім того, було здійснено порівняльний аналіз дослідних ділянок зі схожими характеристиками транспортного навантаження. Так, для ділянок №2 та №3 характерна мінімальна інтенсивність руху автотранспорту, що підтверджується високою різноманітністю лишайників на стовбурах дерев (рис. 5а). На цих територіях у приблизно рівних частках представлені накипні та листуваті форми, а частка куцистих лишайників становить близько 20 %. Отримані результати свідчать про відносно високий рівень якості атмосферного повітря на зазначених дослідних ділянках.

Для дослідних ділянок № 4 та № 6 інтенсивність руху автотранспорту є помірною (рис. 5б). Отримані результати поширеності лишайників це підтверджують. Основну частку проективного покриття займають накипні лишайники на обох дослідних ділянках та становлять на №4 – 67 % та на № 6 – 60 %, що 1,5 та 2,0 разів більше порівняно з листуватими лишайниками відповідно до дослідних ділянок. Отже, можна стверджувати, що якість повітря на даних ділянках є сприятливою.

Під час аналізу проективного покриття лишайників на дослідних ділянках №1 та №8 (рис. 6а), які характеризуються високою інтенсивністю автотранспортного руху, встановлено, що саме на цих територіях зафіксовано найменшу кількість видів лишайників порівняно з іншими ділянками. На ділянці №8 частка накипних форм перевищує відповідний показник ділянки №1 у 1,4 раза, тоді як кількість листуватих лишайників тут є у 2,9 раза меншою від

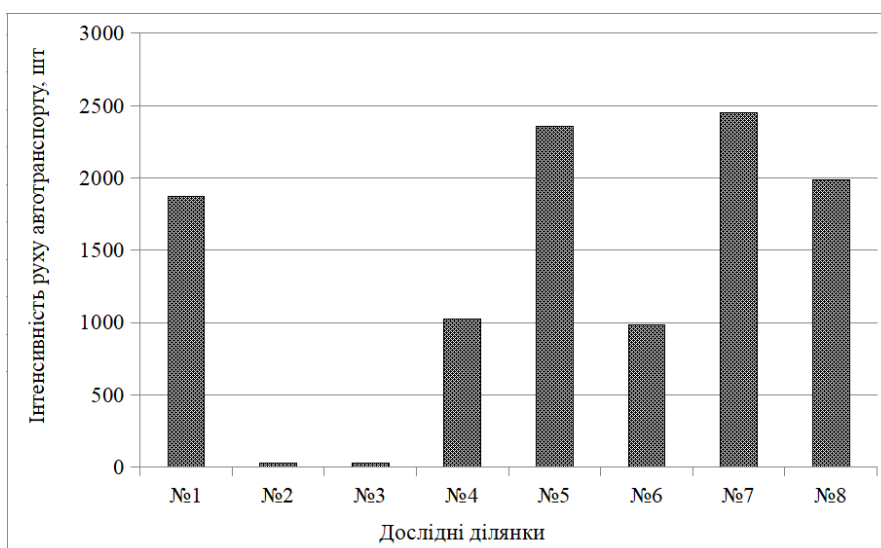


Рис. 3. Інтенсивність руху транспортних засобів поблизу досліджуваних територій

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

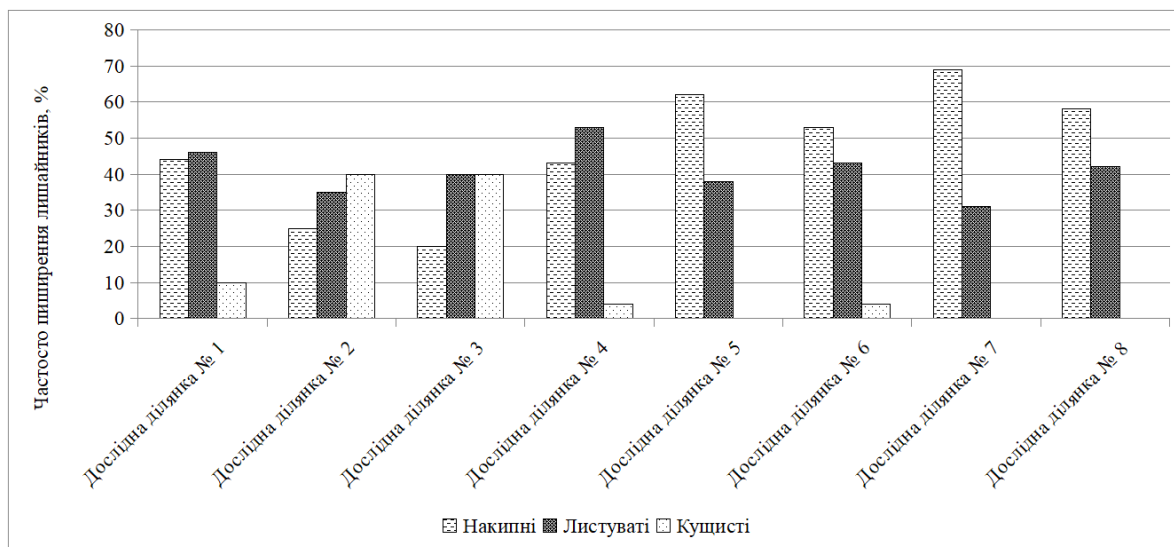


Рис. 4. Частота поширення лишайників на дослідних ділянках м. Житомир

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

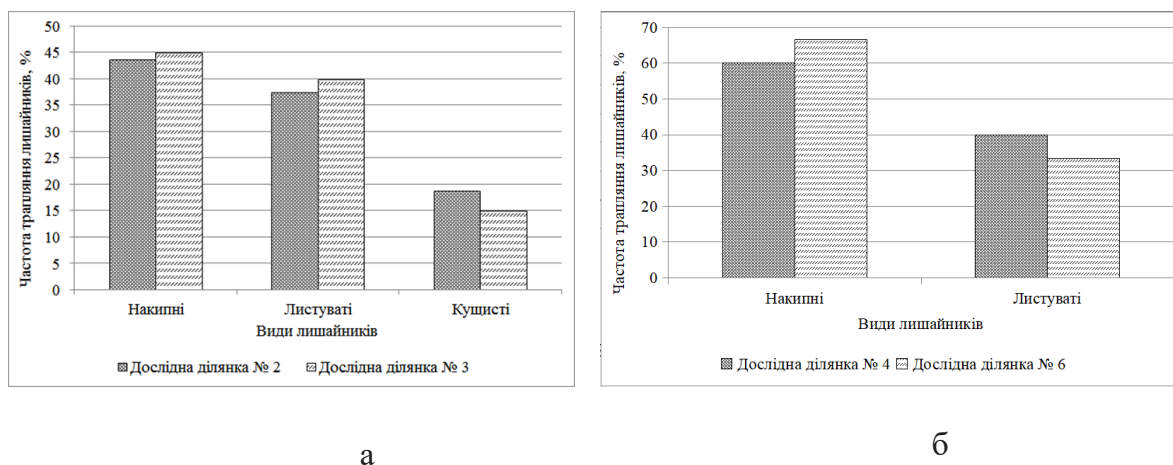


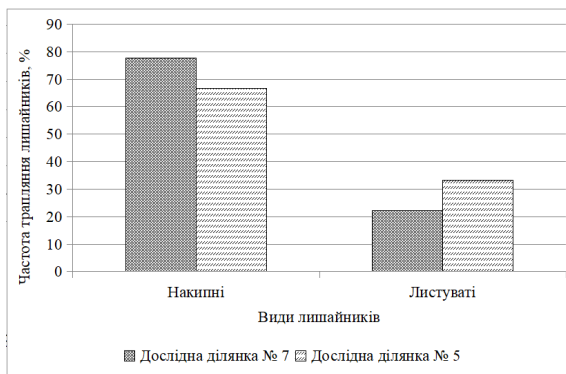
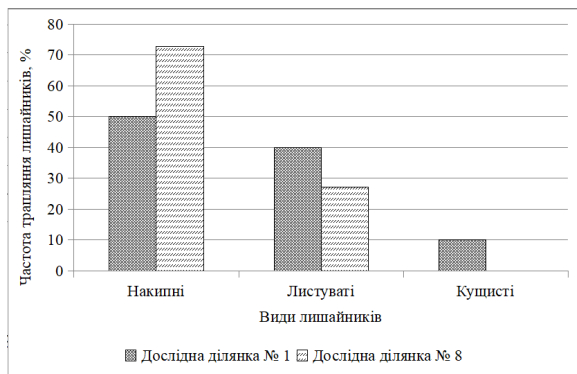
Рис. 5. Поширення лишайників на дослідних ділянках (а – №2 та №3; б – №4 та №6)

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

частки накипних. Водночас на дослідній ділянці №1 співвідношення листуватих і накипних лишайників є приблизно однаковим. Крім того, попри значне транспортне навантаження, на обох ділянках відмічено поодинокі випадки наявності кущистих лишайників.

Найвищу інтенсивність автотранспортного руху зафіксовано на дослідних ділянках №5 та №7 (рис. 6б). На цих територіях частка проективного покриття, сформована накипними лишайниками, перевищує 60%. Для ділянки №5 кількість листуватих форм є у 2,0 раза меншою порівняно з накипними, водночас вона у 1,5 раза перевищує відповідний показник листуватих лишайників на ділянці №7. Порівняльний аналіз інтенсивності поширення

накипних та листуватих лишайників на всіх дослідних ділянках дав змогу виокремити три групи (рис. 7). До першої групи з максимальним рівнем поширення належать ділянки №7 та №8; другу групу з помірними показниками становлять ділянки №6, №5 і №4; до третьої групи з найменшим поширенням накипних лишайників віднесено ділянки №1, №2 та №3. Аналізуючи поширення листуватих лишайників на дослідних ділянках в місті Житомир, можна відмітити, що там, де інтенсивний рух автотранспорту їх наявність є меншою порівняно з ділянками, де рух є помірним або обмеженим. Отже, внаслідок створення негативних умов навколишнього середовища створилися погані умови для росту листуватих лишайників.



а

б

Рис. 6. Поширення лишайників на дослідних ділянках (а – № 8 та № 1; б – № 7 та № 5)

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

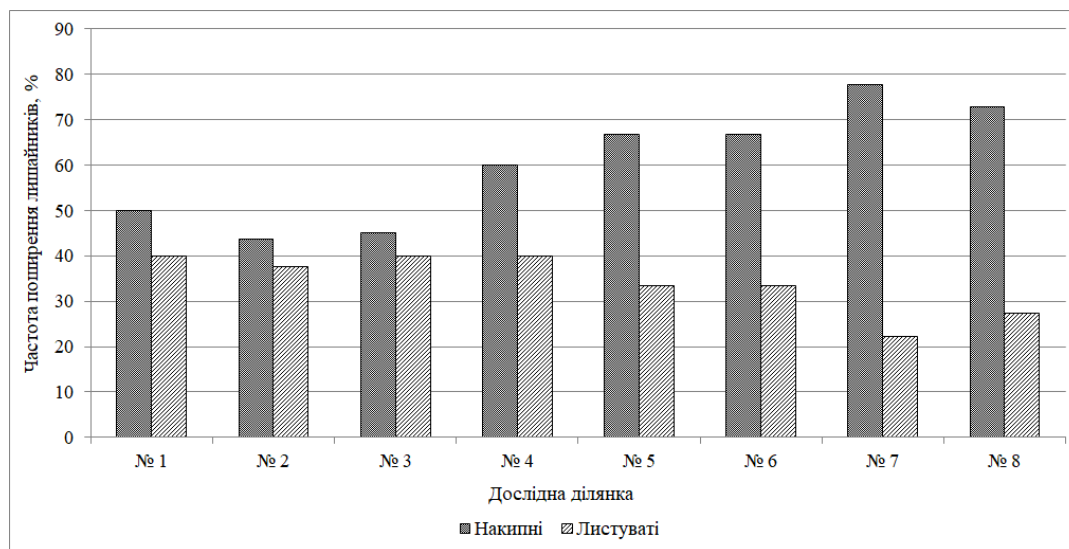


Рис. 7. Поширення накипних та листуватих лишайників на дослідних ділянках, %

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

Отже, результати досліджень свідчать, що на всіх дослідних ділянках домінують накипні лишайники, частка листуватих форм є суттєво меншою, а кущисті лишайники виявлені лише на двох ділянках. Це дає підстави стверджувати, що якість атмосферного повітря на досліджуваних територіях значною мірою визначається інтенсивністю руху автотранспорту, яка, у свою чергу, впливає на поширення, ріст і розвиток лишайників. Отримані дані також підтверджують наявність змін у видовому різноманітті ліхенобіоти вздовж градієнта автотранспортного навантаження. Найменшу кількість видів та найнижчі показники проективного покриття стовбурів дерев зафіксовано на дослідних ділянках №5, №7 і №8, де інтенсивність руху автотранспортних засобів є найвищою.

На підставі розрахунків індексу чистоти повітря (ІЧП.) для м. Житомир було виокремлено чотири ізотоксичні ліхеноіндикаційні зони, які значною мірою узгоджуються з результатами картування груп епіфітних лишайників із подібною чутливістю до атмосферних забруднень (рис. 8). До сильно забрудненої ліхеноіндикаційної зони (ІЧП = 1,0–4,9) належать дослідні ділянки №5, №7 та №8. Найгірші показники якості повітря зафіксовано на ділянці №5, де індекс чистоти повітря Ле Блана та Де Слоовера становить 1,0. Для ділянки №8 цей показник дорівнює 1,8, а для ділянки №7 – 2,8. Епіфітний лишайниковий покрив у межах цієї зони характеризується низьким видовим різноманіттям і незначним або фрагментарним проективним покриттям. Середньо забруднена

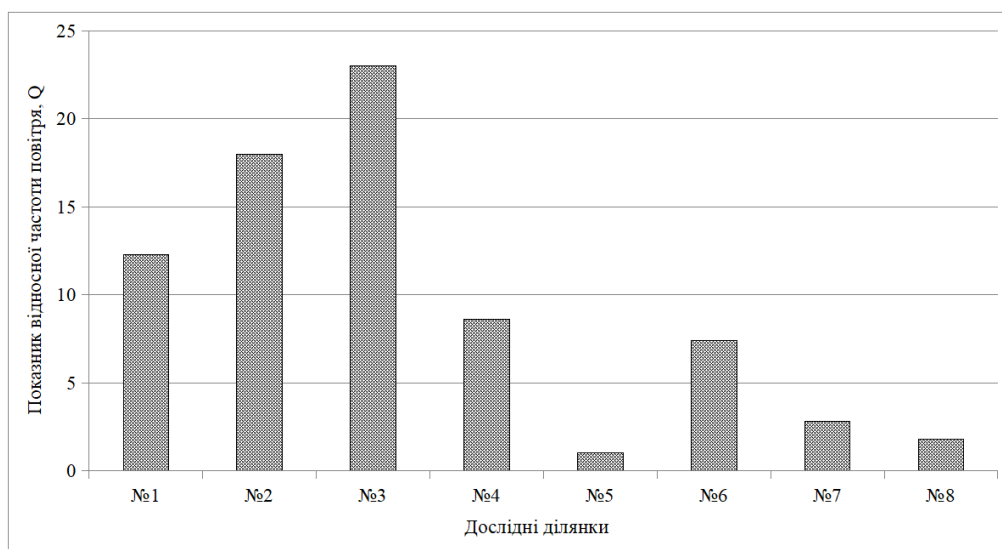


Рис. 8. Показник відносної чистоти атмосфери м. Житомир

Джерело: створено авторами на основі власних досліджень

ліхеноіндикаційна зона (ІЧП = 5,0–9,5) представлена окремими локальними осередками в межах міста, зокрема на вулицях Покровська та Івана Гонти. Для дослідної ділянки №6 індекс чистоти повітря становить 7,4, а для ділянки №4 – 8,6. Видовий склад лишайників у цій зоні є більш різноманітним порівняно із сильно забрудненою територією, проте найбільш чутливі до атмосферного забруднення куцисті форми тут не виявлені.

Слабко забруднена ліхеноіндикаційна зона (ІЧП = 10,0–14,9) відповідає дослідній ділянці №1, де видовий склад лишайників значно різноманітніший у порівнянні з іншими зонами, а індекс чистоти повітря становить 12,3. Не забруднена зона (ІЧП \geq 15) спостерігається на ділянках №2 та №3, з показниками чистоти повітря 18 та 23 відповідно. Для цих зон характерне найбільше видове різноманіття епіфітних лишайників та наявність найчутливіших до забруднення атмосферного повітря куцистих форм.

Таким чином, на території м. Житомир простежується чіткий зв'язок між ізотоксичними ліхеноіндикаційними зонами та ареалами високих концентрацій певних поллютантів, пов'язаних із промисловими та транспортними джерелами викидів. Викиди шкідливих речовин від автотранспорту розповсюджуються здебільшого рівномірно по всій території міста, тому сильно і середньо забруднені зони збігаються з ділянками інтенсивного руху автотранспорту. Зона слабого забруднення розташована на виїзді з міста, де транспортне навантаження помірне. Не забруднена зона переважно характерна для значно заліснених територій із великими парковими масивами та добре провітрюваних частин міста, де відсутні інтенсивні транспортні потоки.

Висновки. На території м. Житомир найчастіше зустрічалися накипні та листуваті лишайники: *Physcia adscendens* (Фісція висхідна), *Graphis* (Графіс), *Lecanora allophana* (Леканора), *Xanthoria parietina* (Ксанторія настінна), *Parmelia sulcata* (Пармелія борозенчаста), *Hypogymnia physodes* (Гіпогімнія вздута) та *Flavoparmelia caperata* (Флавопармелія козина). Поодинокі спостерігалися куцисті лишайники: *Cladonia* (Кладонія) та *Usnea* (Уснея). На всіх дослідних ділянках домінують накипні та листуваті лишайники, а куцисті зустрічаються найрідше. На ділянках №5, №6, №7 та №8 частка накипних форм значно перевищує листуваті, що свідчить про високий рівень забруднення повітря. На ділянках №2 та №3 співвідношення накипних, листуватих і куцистих лишайників більш збалансоване. Видове різноманіття ліхенобіоти змінюється відповідно до градієнта автотранспортного навантаження. Найменші значення ліхенофлори та проективного покриття стовбурів дерев спостерігаються на ділянках №5, №7 та №8, де рух автотранспорту є найбільш інтенсивним. За розрахунками І.Ч.П. у м. Житомир виділено чотири ізотоксичні ліхеноіндикаційні зони:

- Сильно забруднена зона (ІЧП = 1,0–4,9) – ділянки №5, №7 та №8;
- Середньо забруднена зона (ІЧП = 5,0–9,9) – ізольовані осередки на вулицях Покровська (№4) та Івана Гонти (№6);
- Слабко забруднена зона (ІЧП = 10,0–14,9) – ділянка №1;
- Не забруднена зона (ІЧП \geq 15) – ділянки №2 та №3.

Література

1. Ашихміна Т. Я. та ін. Біоіндикація та біотестування – методи пізнання екологічного стану навколишнього середовища. Київ: Знання, 2005. 450 с.
2. Кириченко О.А., Імранова Е.Л. Мікробіологічна оцінка екологічного стану урбанізованих ґрунтів. *Екологія урбанізованих територій*. 2008. № 4. С. 57–61.
3. Міхеев О.М., Гуца М. І., Шиліна Ю.В., Овсяннікова Л.Г. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії стресорів різної природи на екосистеми. *Наукові праці. Екологія*. 2006. Т. 53, № 40. С. 56–64.
4. Кондратюк С. Я. Індикація стану навколишнього середовища України за допомогою лишайників. Київ, 2008. 336 с.
5. Davies L., Bates J. W., Bell J. N. B., James P. W., Purvis O. W. Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 146, No. 2. P. 299–310. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.023>
6. Westberg M., Moberg R., Myrdal M., Nordin A., Ekman S. Santesson's checklist of fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi. 2021. 856 p.
7. Франчук Г. М., Антонов А. М., Маджд С. М., Загоруй Я. В. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля. *Advances in Aerospace Technology*. 2006. Т. 27, № 1. С. 184–190.
8. Процак Ю. О. Переваги та недоліки оцінки хімічного забруднення атмосфери в зоні впливу аеропортів. *Екологічна безпека держави*. 2019. С. 25.
9. Корбут М. Б., Мальований М. С., Мельник З. Є. Визначення рівня забруднення атмосферного повітря в зоні впливу зва-лища твердих побутових відходів м. Житомира за допомогою ліхеноіндикації. *Вісник Кременчуцького національного уні-верситету імені Михайла Остроградського*. 2013. № 6. С. 130–134.
10. Процак Ю. О. Переваги застосування методів біоіндикації стану атмосферного повітря поблизу аеропортів. Інноваційні технології: матеріали наук.-техн. конф. Київ, 2019. С. 79.
11. Кондратюк С. Я., Мартиненко В. Г. Ліхеноіндикація. Київ–Кіровоград: ТОВ «КОД», 2006. 260 с.
12. Van Herk C. M. Epiphytes on wayside trees as an indicator of eutrophication in the Netherlands. Monitoring with lichens – monitoring lichens. *Dordrecht: Springer*, 2002. P. 285–289. 10.1007/978-94-010-0423-7_21
13. Radomska M. M., Strava T. V., Kolotylo O. A. The assessment of atmospheric air condition within Sviatoshynskiy district of Kyiv city applying lichenoidication method. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2016. Vol. 26, No. 1. P. 190–195. <https://doi.org/10.15421/40260128>
14. Вельчева Л. Г., Антоновська Л. В. Вивчення стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації. *Екологія та ноосферо-логія*. 2008. Т. 19, № 1–2. С. 182–185.
15. Литвиненко Ю. І., Вакал А. П., Литвиненко Д. В., Маслов Д. О. Ліхеноіндикаційна оцінка стану природних екосистем у зоні повітряного забруднення ПАТ«Сумхімпром». *Наукові записки СумДПУ імені А.С.Макаренка. Географічні науки*. 2024. Т. 2, № 5. С. 9–15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11124701>
16. Gerasymenko O., Bohachova O., Mokriakova M. Lichen indicative assessment of the ecological state of atmospheric air in urbanised areas of Eastern Ukraine. *Environmental Problems*. 2025. Т. 10, № 1. С. 55–61. <https://doi.org/10.23939/ep2025.01.055>
17. 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. Серія: Екологія*. 2013. № 1070, вип. 9. С. 74–83. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhNU_2013_1070_9_13
18. Литвиненко Ю. І., Вакал А. П., Литвиненко Д. В. Біоіндикаційні дослідження за епіфітною ліхенофлорою м. Суми та його околиць. *Слобжанський науковий вісник. Серія природнича*. 2022. Т. 1, вип. 2. С. 26–30. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2023.2>
19. Кліменко В. М. Ліхеноіндикаційна оцінка змін якості атмосферного повітря м. Херсона за 20 років. *Чорноморський бота-нічний журнал*. 2015. Т. 1, № 4. С. 521–534. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/15.114/8>
20. Клименко В. М. Ліхеноіндикаційна оцінка якості повітря невеликих і середніх міст півдня України. *Чорноморський бота-нічний журнал*. 2016. Т. 12, № 2. С. 191–205. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/16.122/8>
21. Шершова Н. В. Ліхеноіндикація стану атмосферного повітря в місті Васильків Київської області. *Український ботанічний журнал*. 2018. Т. 75, №2. С. 143–148. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.02.143>
22. Окснер А.М. Флора лишайників України. Т. 2, вип. 3. К.: Наук. думка, 2010. 662 с.
23. Кондратюк С.Я. Індикація стану навколишнього середовища України за допомогою лишайників. Київ, 2008. 336 с.
24. Conti, M. E., Cecchetti, G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment a review. *Environmental Pollution*. 2001. Vol. 114. Is. 3. P. 471–492. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)
25. Екологічний паспорт Житомирської області. 2024. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/ecopasport%202024.pdf> (дата звернення: 10.04.2026 р.).

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026