

БІОІНДИКАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ *BUXUS SEMPERVIRENS* L. В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ УРБОЛАНДШАФТІВ

Любінська Л.Г., Григорчук І.Д.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32300, м. Кам'янець-Подільський,
kvitkolub@gmail.com, hryhorchuk@kpnpu.edu.ua

У статті досліджено біоіндикаційні властивості *Buxus sempervirens* L. та обґрунтовано можливості його використання в системі екологічного менеджменту урболандшафтів. В умовах інтенсивної урбанізації та зростання антропогенного навантаження на природні компоненти міського середовища особливої актуальності набуває застосування біологічних методів оцінки якості довкілля, які дозволяють інтегрально відобразити вплив комплексу екологічних чинників. Одним із перспективних напрямів є використання декоративних вічнозелених рослин як індикаторів стану урбанізованих екосистем. Метою дослідження є оцінка реакції *Buxus sempervirens* L. на дію урбаністичних стрес-факторів на основі аналізу морфометричних параметрів та життєздатності пилку. У роботі застосовано комплексний підхід, що поєднує вивчення вегетативних і генеративних характеристик рослин, що забезпечує більш повну оцінку їхнього функціонального стану в умовах трансформованого середовища. Встановлено, що під впливом антропогенного навантаження відбувається варіабельність морфологічних показників та зниження життєздатності пилку у *B. sempervirens*. Показано, що генеративні структури, зокрема пилок, є чутливими індикаторами ранніх змін у рослинному організмі та можуть використовуватися для оцінки екологічного стану територій. Запропоновано інтегрований підхід до біоіндикації, який передбачає поєднання морфометричних і репродуктивних показників. Зроблено висновок, що *B. sempervirens* можуть застосовуватися в екологічному моніторингу урбанізованих територій як доступний метод оцінки стану довкілля, а також в екологічному менеджменті. У майбутньому перспективними є розширення спектру індикаційних показників, порівняльні та сезонні дослідження, встановлення зв'язку із рівнем забруднення та інтеграція з фізико-хімічними методами. Водночас застосування *B. sempervirens* як біоіндикатора потребує уніфікації методичних підходів та обмежується впливом локальних факторів. **Ключові слова:** біоіндикація, антропогенне навантаження, *Buxus sempervirens* L., м. Кам'янець-Подільський.

Bioindicator Properties of *Buxus sempervirens* L. in the System of Environmental Management of Urban Landscapes. Lyubinska L., Hryhorchuk I.

The article examines the bioindicator properties of *Buxus sempervirens* L. and substantiates the possibilities of its use in the system of environmental management of urban landscapes. Under conditions of intensive urbanization and increasing anthropogenic pressure on the natural components of the urban environment, the application of biological methods for assessing environmental quality becomes especially relevant, as they allow for an integral reflection of the impact of a complex of ecological factors. One of the promising approaches is the use of ornamental evergreen plants as indicators of the state of urbanized ecosystems.

The aim of the study is to assess the response of *Buxus sempervirens* L. to urban stress factors based on the analysis of morphometric parameters and pollen viability. The research applies an integrated approach that combines the study of vegetative and generative plant characteristics, ensuring a more comprehensive assessment of their functional state under transformed environmental conditions.

It has been established that anthropogenic pressure causes variability in morphological traits and a decrease in pollen viability in *B. sempervirens*. It is shown that generative structures, particularly pollen, are sensitive indicators of early changes in the plant organism and can be used to assess the ecological state of territories. An integrated approach to bioindication is proposed, combining morphometric and reproductive indicators. It is concluded that *Buxus sempervirens* can be used in environmental monitoring of urbanized areas as an accessible method for assessing environmental quality, as well as in environmental management. Future prospects include expanding the range of indicator parameters, conducting comparative and seasonal studies, establishing relationships with pollution levels, and integrating with physicochemical methods. At the same time, the use of *Buxus sempervirens* as a bioindicator requires the unification of methodological approaches and is limited by the influence of local factors. **Key words:** bioindication, anthropogenic pressure, *Buxus sempervirens* L., Kamianets-Podilskyi.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток урбанізованих територій супроводжується інтенсивним антропогенним навантаженням, що проявляється у зростанні рівня забруднення атмосферного повітря, трансформації ґрунтового покриву та порушенні функціонування біотичних компонентів екосистем. Урболандшафти характеризуються підвищеними концентраціями поллютантів, зокрема



оксидів азоту, сірки, твердих частинок та важких металів, що формує стресові умови для рослинних організмів. У таких умовах особливої актуальності набуває проблема оцінки якості довкілля. На сьогоднішній день активно розвивається напрям біоіндикації, який базується на аналізі реакцій живих організмів на дію факторів середовища [2, 4]. Одними з найбільш інформативних біоіндикаторів є рослини, оскільки вони інтегрують вплив екологічних чинників упродовж тривалого часу. Особливе значення мають їхні репродуктивні структури, зокрема пилок, який є високочутливим до дії забруднювачів і може використовуватися для оцінки рівня техногенного навантаження [1, 5]. Доведено, що під впливом поллютантів відбуваються морфологічні зміни пилових зерен, зниження їх життєздатності та підвищення стерильності [8, 11].

Актуальність дослідження. Забруднення атмосферного повітря, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, є одним із провідних факторів ризику для здоров'я населення, особливо у великих містах, де концентрації твердих частинок та токсичних сполук перевищують допустимі норми. У цьому контексті зростає потреба у впровадженні ефективних підходів до екологічного моніторингу урболандшафтів [1]. Традиційні фізико-хімічні методи оцінювання якості довкілля, хоча й забезпечують точні кількісні показники, не відображають сумарного біологічного ефекту дії забруднювачів на живі організми [4]. Саме тому в сучасній екологічній науці активно розвиваються біоіндикаційні методи, які дозволяють оцінювати інтегральний вплив екологічних факторів на біоту. Вищі рослини, як біоіндикатори, здатні акумулювати поллютанти та реагувати на них змінами морфологічних та фізіолого-біохімічних показників.

У системі екологічного менеджменту урбанізованих територій важливу роль відіграють декоративні деревно-чагарникові рослини, які одночасно виконують екосистемні функції (очищення повітря, зниження температури, акумуляція пилу) та можуть слугувати індикаторами стану середовища. Серед них *Vixus sempervirens* L. є одним із широко використовуваних видів у міському озелененні завдяки своїй стійкості до урбанізованих умов, довговічності та здатності витримувати інтенсивний антропогенний вплив [3, 14]. Попри це біоіндикаційний потенціал *V. sempervirens* залишається недостатньо вивченим. Тому розширення спектра біоіндикаторів урбанізованого середовища та розроблення науково обґрунтованих підходів до використання *V. sempervirens* у системі екологічного менеджменту міст є актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження біоіндикаційних властивостей *V. sempervirens* безпосередньо пов'язане з актуальними науковими та практичними завданнями сучасної екології,

урбоекології та систем екологічного менеджменту. Результати дослідження доповнюють наукові уявлення про механізми адаптації рослин до умов урбанізованого середовища та розширюють спектр індикаторних видів для різних екологічних умов.

Практичне значення результатів дослідження полягають в удосконаленні системи екологічного моніторингу урболандшафтів, зокрема шляхом використання доступних біоіндикаторів замість або на доповнення до інструментальних методів; оптимізації асортименту зелених насаджень у містах з урахуванням їх індикаційного потенціалу; оцінки ефективності природоохоронних заходів через динаміку стану рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Vixus sempervirens* L. у сучасних дослідженнях розглядається переважно як декоративний деревний вид, чутливий до комплексу біотичних та абіотичних чинників, що зумовлює його потенційне використання в екологічному моніторингу урболандшафтів [3]. Значна частина робіт присвячена вивченню декоративних та лікарських властивостей самшиту, а також патологічним процесам, що пов'язані з ураженням їх біологічними патогенами [7]. Так, було ідентифіковано збудника самшитової гнилі (*Calonectria pseudonaviculata*) та встановлено його філогенетичний статус, довівши високу чутливість *Vixus* до грибних патогенів і залежність розвитку хвороби від умов вологості та температури [10]. Це заклало підґрунтя для використання самшиту як індикатора фітопатологічного стану насаджень. Подальші дослідження поширення цього патогену в Європі підтвердили його швидку експансію в урбанізованих екосистемах, що корелює з антропогенним навантаженням та кліматичними змінами [6, 13].

Важливим напрямом досліджень є вивчення взаємодії самшиту з інвазійними шкідниками. Зокрема, вогнівка самшитова (*Cydalima perspectalis*) активно досліджується як фактор деградації самшитових насаджень [6]. Було показано, що поширення цього фітофага в Європі тісно пов'язане з потеплінням клімату, що дозволяє розглядати стан популяції самшиту як індикатор біотичних змін у міському середовищі.

Водночас в сучасній науковій літературі *V. sempervirens* рідко розглядається як класичний біоіндикатор. Однак у межах екологічного підходу до біоіндикації може використовуватися як індикатор стану урбанізованого середовища через реакцію на патогени, шкідників і кліматичні зміни.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З'ясовано що, незважаючи на значний обсяг робіт, присвячених використанню деревних і трав'янистих рослин у біоіндикації, питання застосування *V. sempervirens* як біоіндикатора залишається недостатньо розробленим. Наявні дослідження підтверджують його чутливість до абіотичних і біотичних факторів на фізіологічному, біохімічному

та популяційному рівнях, однак відсутні комплексні роботи, спрямовані на інтегральну оцінку його індикаційних властивостей у системі екологічного менеджменту урболандшафтів. Це визначає актуальність подальших досліджень у цьому напрямі.

Новизна. У представленому дослідженні вперше отримано та узагальнено результати щодо біоіндикаційного потенціалу *B. sempervirens* у системі екологічного менеджменту урболандшафтів, що дозволяє сформулювати такі положення наукової новизни:

– вперше обґрунтовано можливість використання *B. sempervirens* як комплексного біоіндикатора стану урбанізованого середовища, з урахуванням його морфологічних та репродуктивних характеристик;

– розроблено інтегрований підхід до біоіндикації, який поєднує аналіз вегетативних та генеративних ознак, що дозволяє підвищити точність оцінювання антропогенного навантаження;

– вперше встановлено діагностичну цінність показників життєздатності пилку та репродуктивного успіху *B. sempervirens* як ранніх індикаторів впливу урбаністичних стрес-факторів;

– запропоновано практично орієнтовану модель інтеграції біоіндикаційних показників *B. sempervirens* у систему екологічного менеджменту урбанізованих територій, що може бути використана для моніторингу та планування зелених насаджень.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає у розширенні та поглибленні підходів до біоіндикації стану урбанізованого середовища шляхом обґрунтування комплексного використання декоративних вічнозелених видів, зокрема *B. sempervirens*, як індикаторів антропогенного навантаження.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у розвитку концепції фітоіндикації через залучення інтродукованих декоративних видів до системи екологічного моніторингу урболандшафтів, що розширює традиційне коло біоіндикаторів; поглибленні уявлень про чутливість генеративних структур рослин до дії техногенних факторів, зокрема використання пилку як раннього індикатора екологічного стресу; інтеграції біологічних і екологічних підходів у дослідженні урбанізованих екосистем, що відповідає сучасній парадигмі міждисциплінарних досліджень.

Методологічне значення дослідження полягає у можливості обґрунтовувати вибір рослин для озеленення з урахуванням їх індикаторних властивостей та використовувати біоіндикаційні показники як інструмент оцінки якості довкілля.

Виклад основного матеріалу. Оцінка біоіндикаційних властивостей *B. sempervirens* здійснювалася на основі аналізу морфометричних та репродуктивних показників, що відображають різні рівні організації рослинного організму та ступінь його реакції на антропогенне навантаження. Для біоіндикаційної

оцінки *B. sempervirens* обрали дві пробні площі (ПП) у межах м. Кам'янця-Подільського, що відрізнялися антропогенним навантаженням: ПП 1 – Ботанічний сад ЗВО «Подільський державний університет»; ПП 2 – вул. Князів Коріатовичів. ПП 1 прийняли за умовний контроль, оскільки ділянка знаходиться на значній відстані від промислових об'єктів та характеризується низькою інтенсивністю автомобільного руху (в середньому 67 транспортних одиниць / год). ПП 2 – це вулиця зі значним транспортним навантаженням (675 од / год), що дозволяє припускати про посилене антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Морфометричні показники (довжина та ширина листка, довжина пагона) визначали за загальноприйнятими методиками. Стерильність пилкових зерен аналізували йодним методом [5].

Рівень стерильності пилку визначали за формулою:

$$M = \frac{G}{N} \times 100 \%$$

де: M – рівень стерильності пилку (%); G – кількість стерильних пилкових зерен; N – кількість досліджених пилкових зерен [5].

Статистичну обробку даних проводили з використанням пакета прикладних програм «Microsoft Excel 2000».

Отримані результати свідчать про чітку тенденцію до зменшення лінійних параметрів вегетативних органів *B. sempervirens* в умовах урбанізованого середовища (табл. 1). Зокрема, встановлено зниження середніх значень ширини та довжини листкової пластинки, а також довжини однорічних пагонів.

Таблиця 1
Морфометричні показники *Buxus sempervirens* L. в умовах різного антропогенного навантаження м. Кам'янця-Подільського, $M \pm m$, см

| Показник | ПП 1 Ботанічний сад (контроль) | ПП 2 вул. Князів Коріатовичів |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Ширина листка, см | 1,3 ± 0,1 | 0,9 ± 0,01 |
| Довжина листка, см | 2,7 ± 0,1 | 2,3 ± 0,1 |
| Довжина пагона, см | 6,8 ± 0,2 | 4,3 ± 0,2 |

Такі зміни можуть бути інтерпретовані в межах класичного екологічного підходу як прояв пригнічення ростових процесів під впливом несприятливих факторів середовища, зокрема забруднення повітря, ущільнення ґрунту та дефіциту вологи. Зменшення площі листкової поверхні може розглядатися як адаптивна реакція, спрямована на зниження транспіраційних втрат та обмеження надходження політантів.

З позицій екофізіологічного підходу, подібні морфометричні зміни є наслідком порушення клітин-

ного поділу та розтягування, що може бути пов'язано з токсичним впливом забруднюючих речовин.

Водночас слід враховувати, що морфометричні показники є відносно інертними та можуть відображати вже сформовану відповідь рослини на тривалий вплив факторів, тобто мають обмежену чутливість для ранньої діагностики.

Аналіз фертильності пилку *V. sempervirens* (табл. 2) показав суттєве зростання частки стерильних пилкових зерен в умовах урбанізованої зони порівняно з контрольною ділянкою. Це свідчить про негативний вплив антропогенних факторів на репродуктивну систему рослин.

Підвищення стерильності пилку пов'язують із порушеннями мейотичного поділу, пошкодженням ДНК та дестабілізацією клітинних структур під впливом поллютантів. Формування стерильного пилку, як правило, є наслідком збоїв під час мейозу та мікроспорогенезу, що проявляється дегенерацією ядер, цитоплазми або цілих клітин [9]. Відомо також, що екологічний стрес, зокрема дія токсикантів, може викликати асинхронність розвитку чоловічого гаметофіта та мейотичну нестабільність, що безпосередньо впливає на зниження фертильності пилку. На молекулярному рівні порушення процесів рекомбінації та утворення розривів ДНК у мейозі можуть призводити до генетичних аномалій і формування нефункціональних гамет [12].

Таблиця 2

Стерильність пилкових зерен *Vixus sempervirens* L. в умовах різного антропогенного навантаження м. Кам'янець-Подільського, $M \pm m$, %

| Територія дослідження | Рівень стерильності пилкових зерен, % |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| ПП 1 Ботанічний сад – контроль | 5,6±0,1 |
| ПП 2 вул. Князів Коріатовичів | 23,4±1,9 |

Пилок, як високочутлива структура, швидко реагує на зміни середовища, що робить його ефективним індикатором навіть незначних рівнів забруднення. Показано, що під впливом забруднення змінюються морфологічні, фізіологічні та біохімічні характеристики пилку, включаючи життєздатність і частоту аномалій розвитку. Зокрема, збільшення частки стерильного та тератоморфного пилку прямо корелює з рівнем антропогенного навантаження та наявністю важких металів і газових викидів [11]. Припускаємо, що саме показники фертильності пилку можуть бути найбільш інформативними для ранньої діагностики

стану урбанізованого середовища, оскільки відображають початкові порушення на клітинному рівні до появи видимих морфологічних змін. Це узгоджується з даними про те, що репродуктивні структури рослин є одними з найбільш чутливих до дії поллютантів, а зниження життєздатності пилку є одним із ранніх проявів стресу, спричиненого забрудненням повітря [9].

Отримані результати дозволяють виділити наступні взаємопов'язані рівні біоіндикації у *V. sempervirens*: структурний, що характеризує інтенсивність ростових процесів і відображає довготривалу адаптацію до умов середовища та функціональний, що відображає стабільність клітинних і генетичних процесів.

З позицій системного підходу в екологічному менеджменті, поєднання цих рівнів дозволяє отримати більш повну картину стану урболандшафтів, ніж використання окремих показників. Це створює передумови для розробки багаторівневих систем моніторингу, в яких кожен показник виконує свою функцію.

Головні висновки.

1. *V. sempervirens* є чутливим індикатором антропогенного навантаження в урбанізованому середовищі.

2. У рослин урбанізованої зони встановлено зменшення морфометричних показників *V. sempervirens*, що відображає пригнічення ростових процесів під впливом факторів середовища.

3. Зростання частки стерильного пилку *V. sempervirens* свідчить про порушення репродуктивних процесів і є найбільш чутливим показником ранніх змін довкілля.

4. Використання морфометричних та фізіологічних показників забезпечує комплексну оцінку стану урболандшафтів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження біоіндикаційних властивостей *V. sempervirens* можуть застосовуватися в екологічному моніторингу урбанізованих територій як доступний метод оцінки стану довкілля, а також в екологічному менеджменті. У науковому аспекті перспективними є розширення спектру індикаційних показників, порівняльні та сезонні дослідження, встановлення зв'язку із рівнем забруднення та інтеграція з фізико-хімічними методами. За результатами подальшого підтвердження отриманих даних вид може розглядатися як індикаторний для екологічного моніторингу в умовах помірного клімату. Водночас його застосування обмежується впливом локальних факторів та потребує уніфікації методичних підходів.

Література

- Бессонова В. П., Бессонов Є. П., Зверковський В. М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урбатехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18, № 1. С. 1–15.

2. Гришко В. М., Комарова І. О. Біоіндикація атмосферного забруднення за реакцією пилоквих зерен *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (на прикладі м. Кривий Ріг). *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2016. Т. 5/1 (22). URL: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.69276>
3. М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В., Потапський Ю. В., Петрище О. І., Лобунько Ю. В. Удосконалення агротехніки вирощування садивного матеріалу *Buxus sempervirens* L. в умовах Поділля. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2023. № 4/104. URL: [https://doi.org/10.31548/dopovidi4\(104\).2023.010](https://doi.org/10.31548/dopovidi4(104).2023.010)
4. Парпан В. І., Миленка М. М. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно змінених територій. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2010. Вип. 18, Т. 2. С. 61–68.
5. Швец Л. С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності пилоквих зерен різних рослин. *Досягнення біології та медицини*. 2011. № 1 (17). С. 41–44.
6. Ferracini C, Pogolotti C, Mancardi P, Miglio M, Bonelli S, Barbero F. The Box Tree Moth: An Invasive Species Severely Threatening *Buxus* Natural Formation in NW Italy. *Forests*. 2022. Vol. 13 (2). P. 178. URL: <https://doi.org/10.3390/fl3020178>
7. Henricot B., Culham A. *Cylindrocladium buxicola*, a new species affecting *Buxus* spp., and its phylogenetic status. *Mycologia*. 2002. Vol. 94 (6). P. 980–997.
8. Kalbande DM, Dhadse SN, Chaudhari PR, Wate SR. Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008. Vol. 138. P. 233–238. URL: DOI: 10.1007/s10661-007-9793-0
9. Khan N. B., Ch. Soumya, Basak G., Sarkar P., Singh V. K., Adit A., Barman Ch. Impact of air pollution on reproductive biology of plants: Mechanisms and consequences. *Plant Stress*. 2025. Vol. 18, P. 101–119. URL: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101119>
10. Malapi-Wight M, Hébert JB, Buckley R, Daughtrey ML, Gregory NF, Rane K, Tirpak S, Crouch JA. First Report of Boxwood Blight Caused by *Calonectria pseudonaviculata* in Delaware, Maryland, New Jersey, and New York. *Plant Dis*. 2014 Vol. 98 (5). P.698.
11. Selvaggi R, Tedeschini E, Pasqualini S, Moroni B, Petroselli C, Cappelletti D. A New Technique for the Passive Monitoring of Particulate Matter: Olive Pollen Grains as Bioindicators of Air Quality in Urban and Industrial Areas. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(17). P. 9541. URL: <https://doi.org/10.3390/app13179541>
12. Stevanovic K, Sinkkonen A, Pawankar R, Zuberbier T. Urban Greening and Pollen Allergy: Balancing Health and Environmental Sustainability. *J. Allergy Clin. Immunol. Pract*. 2025. Vol. 13 (2). P. 275–279. DOI: 10.1016/j.jaip.2024.12.017
13. Varol, T., Canturk, U., Cetin, M. *et al.* Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. *Theoretical and Applied Climatology*. 2022. Vol. 150. P. 637–647. URL: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04179-1>
14. Vikhe A.D. Vikhe S.L. Phytochemical Analysis Of *Buxus Sempervirens* L. Leaf Methanolic Extract. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 2025. Vol. 14 (2). P. 901–909.

Дата першого надходження статті до видання: 09.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026