

КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ЗА ІНДИКАТОРНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН М. ЗАПОРІЖЖЯ

Крупей К.С.¹, Обруч К.І.², Рильський О.Ф.², Скляренко А.В.³, Количева Н.Л.¹

¹Запорізький державний медичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя

²Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя

³Департамент освіти і науки Запорізької обласної державної адміністрації
пр. Соборний, 164, 69107, м. Запоріжжя

krupeyznu@gmail.com, kolyceva68@gmail.com, chrisobruch2@gmail.com, rylsky@ukr.net, s-k2015@ukr.net

Проведено комплексне дослідження екологічного стану навколишнього середовища 3-х рекреаційних зон м. Запоріжжя за морфометричними параметрами індикаторних деревних рослин, що домінують на цих територіях (*Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L. та *Betula pendula* Roth.). Розроблений авторами метод фітоіндикації стану навколишнього природного середовища за ознаками хлорозів і некрозів деревних рослин дозволяє комплексно оцінити стан території за три ранговою шкалою, яка складена на основі інтенсивності кольору пошкоджених листків. Наступним макроскопічним параметром дослідження було визначення інтегрального показника стабільності розвитку (п'яти рангова шкала) за коефіцієнтом флуктуючої асиметрії. Вид *Acer platanoides* L. є найбільш стійким у досліджуваних екотопах, стан довкілля за комплексною оцінкою характеризувався як «помірне забруднення» на території пам'ятки природи «Дубовий гай. Старі дуби» та «задовільний» на інших ділянках. За інтегральним показником флуктуючої асиметрії листки клену гостролистого на території «Дубовий гай. Старі дуби» мали незначне відхилення від норми, на відміну від інших рекреаційних зон, де відмічалася стабільність умовної зони.

З метою виявлення потенційних рослин для фітореMediaції досліджували показники зміщення кислотності листків дерев-індикаторів. Стійкість протопласту *Betula pendula* Roth. характеризувалася зниженими показниками буферної резистентності (28,04 %) на території «Дубовий гай. Старі дуби». Проте найбільшою стійкістю внутрішнього середовища листків на зовнішнє підкислення володіє *Aesculus hippocastanum* L. на ділянці біля «Скверу Прикордонників» і «Парку залізничної станції Запоріжжя-2» (35,7 та 38,08 %, відповідно). Каштан кінський звичайний володіє також високою всмоктувальною силою листя, тому цей вид можна рекомендувати висаджувати в зазначених зелених зонах з метою комплексного очищення атмосферного повітря.

Фітоіндикаційні й фітомоніторингові методи дозволять у перспективі розробити систему природоохоронних та ремедіаційних заходів щодо оптимізації рекреаційних зон промислових міст в умовах урбогенного середовища. *Ключові слова:* деревні рослини, фітоіндикація, рекреація, екологічна оцінка, флуктуюча асиметрія, pH протопласта.

Complex ecological assessment of the environment by indicator signs of woody plants of recreational zones in Zaporizhzhia. Krupiei K., Obruch K., Rylsky O., Sklyarenko A., Kolycheva N.

A comprehensive study of the ecological state of the environment was carried out (3 recreational zones) in Zaporizhzhia on the morphometric parameters of indicator woody plants that dominate in these areas (*Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L. and *Betula pendula* Roth.). The authors developed a method of phytoindication of the state of the environment on the basis of chlorosis and necrosis of woody plants. The method allows to comprehensively assess the state of the territory on a three-point scale, which is based on the color intensity of damaged leaves.

The next macroscopic parameter of the study was to determine the integral index of development stability (five rank scale) on the coefficient of fluctuating asymmetry. The *Acer platanoides* L. is the most stable in the investigated ecotopes, the state of the environment for a comprehensive assessment was characterized as «moderate pollution» in the territory of the nature «Oak Grove. Old oaks» and «satisfactory» in other areas. According to the integral indicator of fluctuating asymmetry of the leaves *Acer platanoides* L. in the territory of «Oak grove. Old Oaks» had a slight deviation from the norm, unlike other recreational zones, where the stability of the conditional zone was noted.

To detect potential plants for phytoremediation, indicators of leaves acidity of indicators were investigated. *Betula pendula* Roth. protoplast resistance was characterized by reduced indicators of buffer resistance (28.04 %) in the territory of «Oak Grove. Old oaks». However, the largest resistance of the internal medium of leaves on external acidification had *Aesculus hippocastanum* L. on the section near the «Border Guards Square» and «Park of the railway station of Zaporizhzhia-2» (35.7 and 38.08 %, respectively). *Aesculus hippocastanum* L. also had a high suction force of leaves, so this kind can be recommended to plant in these recreational zones to comprehensive cleaning of atmospheric air.

Phytoindication and phytomonitoring methods will allow in future to develop a system of protection and remediation to optimize green zones of industrial cities in the conditions of the urbogenic environment. *Key words:* wood plants, phytoindication, recreation, ecological assessment, fluctuating asymmetry, pH of protoplast.

Постановка проблеми. Фітоіндикація є ефективним методом оцінювання екологічного стану території, оскільки живі системи дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і мають властивість реагувати раніше, ніж ці зміни будуть виявлені інструментальними методами [1–3]. Окрім того, ана-

літичні методи дослідження не в змозі надати інформацію щодо фізіологічно активних форм полутантів та їх абіогенних і біогенних трансформацій. Листова пластинка деревних рослин є функціонально активним органом, який реагує на зміни навколишнього середовища і найбільш часто використовується в дослідженнях з біомоніторингу [4–7]. Пригнічення росту листя знаходиться в прямій залежності від ступеня загазованості місцеперебування: чим вище забруднення повітря, тим менше морфометричні параметри листя. Проте, на жаль, сьогодні фітоіндикаційні дослідження практично обмежуються декількома показниками, у тому числі морфометричними параметрами листя. Тому пошук інших індикаторних ознак деревних рослин та їх порівняльний аналіз дозволить проводити об'єктивну оцінку екологічного стану території.

Актуальність дослідження. Зазначена вище інформація окреслює значущість обраного дослідження та актуалізує необхідність проведення емпіричних досліджень для розширення спектру індикаторних ознак деревних рослин у системі біоіндикаційних досліджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведене дослідження дозволить науковцям, студентам, які займаються екологічним моніторингом та біоіндикацією, використовувати розширений спектр індикаторних показників деревних рослин для вивчення екологічного стану територій та застосовувати комплексний підхід в емпіричних дослідженнях задля надання практичних рекомендацій щодо вибору деревних рослин для біоіндикації та/або ремедіації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У якості біоіндикаційних об'єктів частіше виступають деревні культури, а саме, *Betula pendula* [8–11], *Acer platanoides* [12], *Acer pseudoplatanus* [13], *Salix alba*, *Populus pyramidalis* [14], *Salix caprea* L. [15]. Першочерговим та широковживаним методом дослідження якості навколишнього середовища є флюктуюча асиметрія, в основі якої лежить білатерально-симетрична структура органа рослин [16]. Перевагою цього способу є економічність, пристосованість тест-об'єкта до певного місця зростання, доступність матеріалу, що впливає на репрезентативність вибірки, можливість повторних досліджень однієї особини як протягом сезону, так і кількох років поспіль. Попри це, існують дослідження щодо спростування ефективності даного методу. Показник флюктуючої асиметрії не демонструє вплив важких металів та посухи на деревні рослини [17].

Виходячи з цього, автори запропонували спосіб дослідження стану довкілля за ступенем пошкодження листової пластинки дерев-індикаторів, наприклад, *Betula pendula* Roth. Сутність розробки полягає у створенні способу біоіндикації для комплексної оцінки стану атмосферного повітря шляхом аналізу інтенсивності пошкоджень на листових

пластинках дерев методами графічного редагування з подальшою інтерпретацією результатів в кількісний вираз [18]. Головною перевагою способу є його економічність, швидкість та простота виконання, відсутність потреби в наявності спеціалізованого обладнання. Незважаючи на це, обидва ці методи унеможливають відбір рослин для біоремедіації. Для реалізації цієї мети в контексті комплексного дослідження екологічного стану території доречним є застосування способу визначення біоіндикаторів / ремедіаторів серед видів рослин за величиною буферної місткості протопласта [19]. Дослідження N.I. Glibovytska, K.V. Karavanovyc (2018) показали, що стійкість буферної системи листя знижується під впливом нафтового родовища в порівнянні з фоновою ділянкою, але кислотність листових пластинок дерев, які ростуть в умовах родовища, збільшується. За результатами експерименту автори визначили залежність буферної системи асиміляційних органів дерев до впливу нафтових відкладень (за зменшенням стійкості): *Betula pendula* → *Salix alba* → *Populus tremula* → *Populus pyramidalis* → *Acer platanoides* [15].

Виходячи з цього, метою дослідження було вивчення антропогенного впливу на морфологічні і фізіологічні показники деревних рослин, які домінують в рекреаційних зонах м. Запоріжжя, за допомогою біоіндикаційних методів дослідження.

Об'єктом дослідження були індикаторні ознаки деревних рослин, **предметом** – ступінь пошкодження листових пластинок дерев-індикаторів в умовах комплексного забруднення атмосферного повітря.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведена комплексна екологічна оцінка стану рекреаційних територій м. Запоріжжя за морфометричними та фізико-хімічними критеріями деревних рослин.

Новизна. Вперше проведено комплексне фітоіндикаційне дослідження рекреаційних зон м. Запоріжжя за морфометричними й фізико-хімічними методами й показані можливості інтеграції індикаторних ознак деревних рослин для інформативної оцінки стану навколишнього середовища.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведені фітоіндикаційні дослідження за розробленою авторами методикою демонструють не тільки реальні можливості застосування нових індикаційних ознак рослин для комплексної екологічної оцінки території, але й наголошують на важливості використання комплексу біоіндикаційних методів для надання об'єктивних висновків та практичних рекомендацій щодо правильного вибору об'єктів деревних насаджень з метою індикації забруднень та фітомеліорації урбоєкосистем.

Матеріали та методи дослідження. Стан деревних рослин досліджували в 3-х рекреаційних

зонах м. Запоріжжя: ботанічна пам'ятка природи місцевого значення «Дубовий гай. Старі дуби» (№ 1), рекреаційна територія (РТ) поряд зі «Сквером Прикордонників» (№ 2) та парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва місцевого значення «Парк залізничної станції Запоріжжя-2» (№ 3). Території № 1 та № 2 належать до об'єктів природно-заповідного фонду, які мають спеціальний юридичний статус та природоохоронну цінність. Картоосхеми ділянок відбору проб представлені на рис. 1.

У досліджуваних парках обрали 3 види деревних рослин: *Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L. та *Betula pendula* Roth. Такий вибір обумовлений тим, що, по-перше, ці рослини є домінуючими в рекреаційних зонах м. Запоріжжя, по-друге, їх активно використовують у фітоіндикаційних дослідженнях. Відбір листків проводили із нижнього ярусу крони з гілок першого порядку галузнення у червні 2021 року (в цей період відбувається активний розвиток системи асиміляції рослин). Кількість елементів вибірки – 10 дерев з екотопу (по 10 листків із кожного дерева) [20]. Після формування змішаної проби листки розкладали на білих аркушах паперу та фотографували на відстані 25-30 см від об'єкта знімання в режимі «Макрофільмування» без спалаху. Використовували цифровий дзеркальний фотоапарат Nikon D3100. Після цього фотографії завантажували в графічний редактор Adobe Photoshop CS8. Для усунення незначного цифрового шуму в зображенні використовували фільтр «Розмивання за Гаусом» з параметром «Радіус», що дорівнював 20 пікселям. Після цього встановлювали режим «Lab» та отримували параметри кожного з трьох каналів: L_2 – яскравість; a_2 – величина червоно-зеленої складової; b_2 – величина жовто-синьої складової (у 10 довільних точках) [21]. Саме ця кольорова модель, на відміну від класичної моделі RGB, представляє кольори так, як бачить їх людина із нормальним зором. Потім розраховували середнє арифметичне значення для кожного з каналів Lab. Порівняння кольору здійснювали за формулою кольорової відмінності, яка дозволяє за показниками

каналів кольорової моделі СІЕ (кольорова модель Міжнародної комісії з освітлення) Lab чисельно виразити відмінності між двома кольорами – контрольним та дослідними зразками (dE) в умовних одиницях. Усі розрахунки проводили в прикладному програмному забезпеченні Microsoft Excel 2007. У якості контрольного кольору запропонований червоний колір із показниками моделі $L_1=55$, $a_1=79$, $b_1=68$, оскільки саме цей колір надає найбільшу відмінність із показниками кольорової моделі зеленого, жовтого та коричневого кольорів, які характерні для здорових та пошкоджених листків деревних рослин. Отримане значення dE зіставляли з визначником, розроблений авторами [18, 22], де вказані діапазони dE здорових та пошкоджених листків деревних рослин, що дозволяє зробити відповідний висновок про екологічний стан території (табл. 1).

Таблиця 1

Показники комплексного стану довкілля

Ознака	Діапазон dE, ум. од.	Стан довкілля
Зелені (здорові) листки	46 – 56	Задовільний
Ділянки з хлорозом	35 – 45	Помірне забруднення
Ділянки з некрозом	24 – 34	Незадовільний

Після фотографування біоматеріалу проводили вимірювання показників флуктуючої асиметрії (ФА) за загальновідомою методикою та оцінювали стан деревних рослин за показником стабільності розвитку [16] (табл. 2).

Надалі листки вагою 1 г розтирали в фарфоровій ступці до однорідної маси й змивали в стакан 10 мл дистильованої води. На наступну добу вимірювали показники рН. Далі до гомогенату додавали 5 мл 0,1 N хлоридної кислоти. Повторні вимірювання проводили через 24 год. За різницею цих показників розраховували показники зміщення кислотності (ΔрН) [23, 24]. Повторність вимірювань чотирикратна. Математичну обробку отриманих результа-

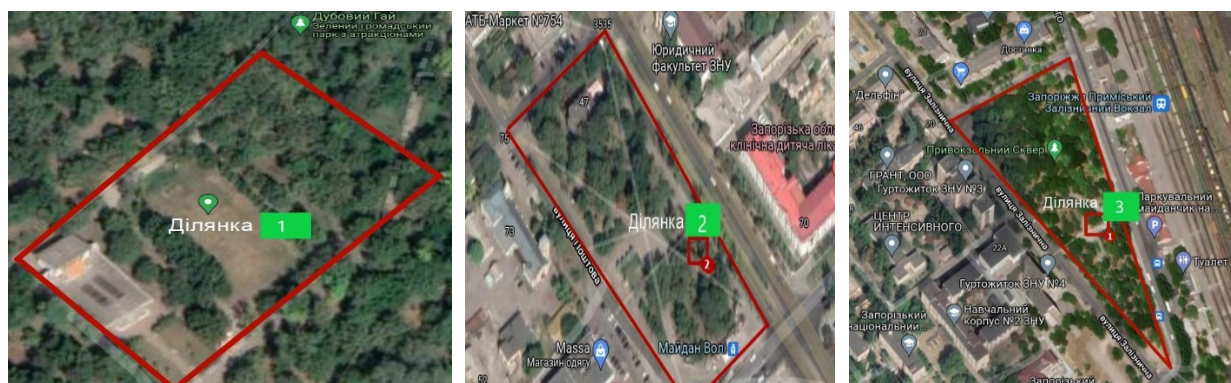


Рис. 1. Точки відбору проб

тів проводили варіаційно-статистичним методом. Статистичні розрахунки проводили за допомогою програмного пакета MS Excel 2007 та Statistica 6,0.

Таблиця 2

Оцінка відхилень стану деревних рослин від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку

Бал	Величина показника стабільності розвитку	Значення стабільності розвитку
I	<0,040	Стабільність умовної норми
II	0,040–0,044	Незначне відхилення від норми
III	0,045–0,049	Середній рівень відхилення від норми
IV	0,050–0,054	Значне відхилення від норми
V	> 0,054	Критичний стан

Результати дослідження та їх обговорення.

У промислових містах України, у тому числі в м. Запоріжжя, при біоіндикаційних дослідженнях стану навколишнього середовища та екологічному моніторингу в урбоекосистемах часто видається складним вибір контрольної (фонові) ділянки з мінімальним ступенем антропогенного навантаження. Якщо декілька років тому територія «Дубовий гай. Старі дуби» активно зазначалася в наукових публікаціях як умовно чиста (контрольна) ділянка [25–27], на сьогодні, на жаль, вивчення безлічі параметрів деревних рослин в цій зоні не дозволяє віднести її до категорії «фонова територія».

Комплексна оцінка стану навколишнього середовища за інтенсивністю кольорів листків з різним ступенем пошкодження передбачає три рангову інтерпретацію результатів, а за інтегральним параметром ФА – п'яти рангову (табл. 3, 4). Порівняння результатів за розробленим авторами методом із методом ФА продемонструвало чітку обернену та пряму тенденцію.

Так, зі збільшенням некротичних ушкоджень та хлорозу на листових пластинках деревних рослин спостерігали зменшення показника dE. Водночас зі збільшенням ушкоджених ділянок на листках дерев у паркових зонах, показники ФА також збільшувалися. Так, вид *Acer platanoides* L. виявився найбільш стійким у досліджуваних екотопах, стан доквілля за комплексною оцінкою характеризувався як «помірне забруднення» на території пам'ятки природи «Дубовий гай. Старі дуби» та «задовільний» (II бали) на інших ділянках. За інтегральним показником ФА листки клену гостролистого у парку Дубовий гай мали незначне відхилення від норми, на інших ділянках була стабільність умовної зони (I бал). Інші домінуючі види деревних рослин у всіх досліджуваних парках виявилися чутливими до стресових умов навколишнього середовища, їх стан характеризувався як «незадовільний» / «критичний». Дендрологічні спостереження та наукові дослідження інших авторів показали, що ці нестійкі до забруднень види є біоіндикаторами стану навколишнього середовища, особливо атмосферних задилянь [28].

Не менш інформативним показником стійкості деревних рослин до поллютантів є зміщення кислот-

Таблиця 3

Комплексна оцінка стану доквілля за інтенсивністю кольору листків деревних рослин у рекреаційних зонах м. Запоріжжя

Місце відбору проб	Досліджуваний об'єкт	L_2 $\bar{x} \pm m$	a_2 $\bar{x} \pm m$	b_2 $\bar{x} \pm m$	dE ₂ , ум. од. $\bar{x} \pm m$	Стан доквілля
№ 1	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	55±2,59	8,0±0,37	21±1,01	25,91±1,18	Незадовільний
	<i>Acer platanoides</i> L.	59±2,54	4,0±0,18	56±2,52	35,80±1,57	Помірне забруднення
	<i>Betula pendula</i> Roth.	46±2,07	7,0±0,3	19±0,84	27,86±1,22	Незадовільний
№ 2	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	42±1,93	8,0±0,38	23±1,07	29,20±1,37	Незадовільний
	<i>Acer platanoides</i> L.	94±4,71	9,0±0,44	81±4,05	46,64±2,28	Задовільний
	<i>Betula pendula</i> Roth.	52±2,44	7,0±0,32	23±1,10	27,16±1,25	Незадовільний
№ 3	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	54±2,60	8,0±0,37	20±0,94	25,80±1,19	Незадовільний
	<i>Acer platanoides</i> L.	91±4,46	7,0±0,33	88±4,22	47,45±2,23	Задовільний
	<i>Betula pendula</i> Roth.	51±2,35	9,0±0,39	22±0,99	25,58±1,12	Незадовільний

ності протопласту листків, вивчення якого за останні декілька років привертає увагу дослідників [23, 24].

У паркових зонах збільшення рН протопласту для всіх видів деревних рослин можна представити наступним рядом: № 1 → № 3 → № 2 (табл. 5). Максимальне залуговування внутрішнього середовища листків деревних рослин зареєстровано на РТ поблизу «Скверу Прикордонників», що можна пояснити надмірним транспортним навантаженням на просп. Соборний, який знаходиться поруч, та викидами автотранспорту. Так, деякі важкі метали (ВМ) (Плюмбум, Нікель, Хром, Кадмій, Цинк, Ферум тощо) здатні зменшувати рівень природного водневого показника внутрішнього середовища листків деревних рослин зеленої захисної смуги уздовж транспортних магістралей [29]. Для оцінки рівня стійкості деревних рослин до зовнішнього підкислення (рН') 0,1 N хлоридною кислотою розраховували співвідношення рН' до рН початкового (показник демонструє рівень протидії протопласта зовнішньому підкисленню).

Порівняльний аналіз екотопів за цим показником продемонстрував, що найменша стійкість протопласту деревних рослин відмічена на території «Дубовий гай. Старі дуби». Серед домінантних видів дерев значно знижена буферна резистентність на цій території у *Betula pendula* Roth. (28,04 %).

Проте найбільшою стійкістю внутрішнього середовища листків на зовнішнє підкислення володіє *Aesculus hippocastanum* L. на ділянці біля «Скверу Прикордонників» і «Парку залізничної станції Запоріжжя-2» (35,7 та 38,08 %, відповідно), тому цей вид можна рекомендувати висаджувати в зазначених

рекреаційних зонах з метою комплексного очищення атмосферного повітря та ґрунту від ВМ, оскільки він володіє високою всмоктувальною силою листя, що підтверджують дослідження інших авторів [30]. Проведені нами й іншими авторами дослідження є актуальними, оскільки до сьогодні вчені проводили подібні дослідження щодо інтенсивності акумуляції ВМ деревною рослинністю на інших об'єктах (в полязахисній лісосмузі), де встановили наступну послідовність зниження цієї здатності: липа дрібнолиста > клен американський > тополя [31].

Обчислення взаємозв'язків між фізико-хімічними параметрами, показниками dE та ФА деревних рослин підтвердило достовірну пряму залежність між ними. Підвищення рН та зміщення кислотності супроводжується зниженням показників dE та збільшенням інтегрального показника ФА. Виявлена висока позитивна кореляційна залежність між рН початковим і ΔрН для видів *Aesculus hippocastanum* L. та *Betula pendula* Roth. у всіх екотопах ($r = 0,85 - 0,95$). Кореляційний зв'язок між цими фізико-хімічними параметрами та інтегральним показником ФА для цих деревних рослин був тісний позитивний та варіював у межах від 0,75 до 0,92. Проте для виду *Aesculus hippocastanum* L. на РТ біля «Скверу Прикордонників» відмічався середній кореляційний зв'язок між вище зазначеними показниками. Середній та тісний негативний кореляційний взаємозв'язок виявився між рН початковим, ΔрН та показниками dE для видів *Aesculus hippocastanum* L. та *Betula pendula* Roth. (від -0,59 до -0,89). Вид *Acer platanoides* L. є стійким до стресових чинників у паркових зонах міста. Подібні результати були отримані

Таблиця 4

Якість середовища за інтегральним параметром флуктуючої асиметрії

Місце відбору проб	Досліджуваний об'єкт	Інтегральний показник флуктуючої асиметрії $\bar{x} \pm m$	Стандартне відхилення S	Якість середовища
№ 1	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	0,1502±0,0018	0,1372	V балів – критичний стан
	<i>Acer platanoides</i> L.	0,0042±0,0001	0,0201	II бали – незначне відхилення від норми
	<i>Betula pendula</i> Roth.	0,1708±0,0110	0,3329	V балів – критичний стан
№ 2	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	0,1024±0,0004	0,0672	V балів – критичний стан
	<i>Acer platanoides</i> L.	0,0205±0,0001	0,0096	I бал – стабільність умовної зони
	<i>Betula pendula</i> Roth.	0,1284±0,0020	0,1419	V балів – критичний стан
№ 3	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	0,1375±0,0001	0,0350	V балів – критичний стан
	<i>Acer platanoides</i> L.	0,0347±0,0001	0,0121	I бал – стабільність умовної зони
	<i>Betula pendula</i> Roth.	0,0658±0,0002	0,0410	V балів – критичний стан

Таблиця 5

Показники зміщення кислотності ΔpH листків деревних рослин у рекреаційних зонах м. Запоріжжя

Обрана ділянка	pH початкове $\bar{x} \pm m$	pH' (кінцеве) $\bar{x} \pm m$	ΔpH $\bar{x} \pm m$	$pH' / pH, \%$
№ 1				
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	4,61±0,21	1,42±0,62	3,19±0,14	30,8
<i>Acer platanoides</i> L.	4,9±0,22	1,58±0,06	3,32±0,15	32,2
<i>Betula pendula</i> Roth.	4,6±0,20	1,29±0,05	3,31±0,14	28,04
№ 2				
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	5,03±0,23	1,8±0,08	3,23±0,15	35,7
<i>Acer platanoides</i> L.	4,91±0,22	1,64±0,07	3,27±0,14	33,4
<i>Betula pendula</i> Roth.	5,17±0,25	1,76±0,08	3,41±0,16	34,04
№ 3				
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	4,91±0,23	1,87±0,09	3,04±0,14	38,08
<i>Acer platanoides</i> L.	4,89±0,22	1,57±0,07	3,32±0,15	32,10
<i>Betula pendula</i> Roth.	4,76±0,27	1,53±0,07	3,23±0,15	32,14

Н.І. Глібовицькою зі співавт. (2018) при дослідженні урбогенного середовища м. Івано-Франківськ [24]. Кореляційна залежність між фізико-хімічними параметрами листків клену гостролистого та показниками dE і FA була слабкою (достовірної прямої залежності між цими параметрами не підтверджено).

Головні висновки. Результати дослідження показали, що деякі території м. Запоріжжя, які раніше зазначалися у наукових публікаціях як контрольні ділянки у моніторингових дослідженнях, на сьогодні не можна назвати «фоновими». Так, на природно-заповідній території № 3 «Дубовий гай. Старі дуби» за параметрами dE та показниками FA домінують деревних рослин (*Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth.) стан території характеризувався як «незадовільний» та «критичний». Проте стійким видом до антропогенного забруднення за цими показниками є

Acer platanoides L. Попри це, найбільшою стійкістю внутрішнього середовища листків на зовнішнє підкислення володіє *Aesculus hippocastanum* L. на ділянках № 2 та 3 (35,7 та 38,08 %, відповідно), тому цей вид можна рекомендувати висаджувати на цих територіях не тільки з метою рекреації, але й біоремедіації, оскільки у нього висока всмоктувальна здатність листових пластинок.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для навчання та дослідницької діяльності викладачів і студентів-екологів, які займаються біоіндикаційними та моніторинговими дослідженнями. Перспективою подальших досліджень є розширення спектру індикаторних ознак деревних рослин та порівняння результатів досліджень у різних промислових регіонах України з метою надання рекомендацій по раціональному озелененню рекреаційних зон міст.

Література

1. Готвянська В.О., Демура В.І. Розподіл та накопичення важких металів в ґрунтово-рослинному покриві в умовах техногенного впливу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Геологія. Географія.* 2013. Т. 21, Вип. 15. С. 112-115.
2. Бессонова В.П., Фендюр Л.М., Пересипкіна Т.М. Можливості використання декоративних квіткових рослин для фітоіндикації забруднення навколишнього середовища. Вміст зелених пігментів. *Український ботанічний журнал.* 1996. Вип. 53(2). С. 319-324.
3. Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології.* 2019. Вип. 24, № 1. С. 36-56.
4. Franiel I., Babczyńska A. The Growth and Reproductive Effort of *Betula pendula* Roth. in a Heavy-Metals Polluted Area. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2011. Vol. 20(4). P. 1097-1101.
5. Tree Leaves as Bioindicator of Heavy Metal Pollution in Mechanic Village, Ogun State / Ojekunle Z., Adeboje M., Taiwo A., Sangowusi R., Taiwo A., Ojekunle V. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management.* 2014. Vol. 18(4). P. 639-644.
6. Alves-Silva E., Santos J.C., Cornelissen T.G. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry. *Ecological Indicators.* 2018. Vol. 89. P. 912-924.
7. Fasani D., Fermo P., Barroso P. Analytical Method for Biomonitoring of PAH Using Leaves of Bitter Orange Trees (*Citrus aurantium*): a Case Study in South Spain. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2016. Vol. 227, № 10. P. 227-360.
8. Савинцева Л.С., Егошина Т.Л., Ширяев В.В. Оценка качества урбаноcреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле.* 2012. Вып. 2. С. 31-37.
9. Малащенко В.В., Старшикова Л.В., Гайдученко Е.С. Стабильность развития *Betula pendula* Roth. в урбоэкосистемах Гомельского Полесья. *Вестник Мозырского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина.* 2013. Вып. 2(39). С. 19-36.

10. Application of fluctuating asymmetry indexes of silver birch leaves for diagnostics of plant communities under technogenic pollution / Ivanov V.P., Ivanov Yu.V., Marchenko S.I., Kuznetsov V.I.V. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2015. Vol. 62(3). P. 340-348.
11. Буцяк А.А., Буцяк В.І., Музика Л.І. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки стану атмосферного повітря в зоні діяльності Добротвірської ТЕС. *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2018. Вип. 20(89). С. 122-126.
12. Приступа І.В., Шалімов І.В., Романчук Т.В. Динаміка вмісту фото синтезуючих пігментів як фітоіндикційний показник у представників р. *Juniperus*, що зростають в умовах промислового міста південного сходу України. *Питання біоіндикації та екології*. 2009. Вип. 14, № 1. С. 74-80.
13. Більчук В.С. Вплив техногенного забруднення на активність і компонентний склад амінотрансфераз репродуктивних органів деревних рослин. *Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції 22 травня 2005 р. Дніпропетровськ : ДНУ ім. О. Гончара, 2005. С. 6.
14. Плячук Д.Л. Проведення інтегральної експрес-оцінки якості атмосферного повітря в умовах зміни промислової інфраструктури регіону. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Вип. 3/6(75). С. 58-63.
15. Glibovyt'ska N.I., Karavanovyc K.B. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8(3). P. 322-327.
16. Захаров В.М. Кларк Д.М. Биотест: интегральная оценка уровней загрязнения воздуха в условиях промышленного города. М.: Биотест, 1993. 68 с.
17. Zverev V., Lama A.D., Kozlov M. Fluctuating asymmetry of birch leaves did not increase with pollution and drought stress in a controlled experiment. *Ecological indicators*. 2018. Vol. 84. P. 283-289.
18. Спосіб біоіндикації стану довкілля за ступенем пошкодження листової пластинки дерев : пат. 07632 Україна : МПК (2019 01) G01N 21/00 G01N 33/00. № u 2019 07632; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020. Бюл. № 3. 5 с.
19. Isolation of Mesophyll Protoplasts from Mediterranean Woody Plants for the Study of DNA Integrity under Abiotic Stress / Kuzminsky E., Roberta Meschini R., Terzoli S., Pavani L., Silvestri C., Choury Z., Scarascia-Mugnozza G. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 11-68.
20. Парпан В.І., Миленька М.М. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно змінених територій. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Біологія. Екологія*. 2010. Вип. 18. Т. 2. С. 61-68.
21. Спосіб визначення інтенсивності пігментоутворення у бактерій : пат. 49812 Україна : МПК (2009) C12Q 1/00, C12M 1/00, C12M 1/34. № u 200912311; заявл. 30.11.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9. 8 с.
22. Крупей К.С., Обруч К.І., Михайличенко А.А. Фітоіндикація стану довкілля за ступенем пошкодження листової пластинки *Betula pendula* Roth. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 2, № 24. С. 130-140.
23. Глібовицька Н.І. Фізико-хімічні параметри стану листків липи сердцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в урботехногенних умовах зростання. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія*. 2013. Вип. 18, № 1079. С. 180-185.
24. Глібовицька Н.І., Бойчук І.В. Буферна стійкість та технології захисту деревних насаджень урбоєкосистем. *Науково-технічний журнал*. 2018. Вип. 17, № 1. С. 39-45.
25. Крупенко Л. Стан асиміляційного апарату *Tilia Cordata* в умовах аерогенного забруднення м. Запоріжжя. *Молода наука – 2014* : Матеріали наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених 8-10 квітня 2014 р. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2014. Т. 4. С. 57-58.
26. Самохвалова А. Використання *Azotobacter* у якості індикатора родючості урбоземів. *Молода наука – 2014* : Матеріали наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених 8-10 квітня 2014 р. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2014. Т. 4. С. 103-104.
27. Костюченко Н.І. Мікрومیцетні комплекси кореневої зони газонних трав парків міста Запоріжжя. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії* : Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції 13-15 травня 2015 р. Запоріжжя : Поліграфічний центр «Сору Арт», 2015. С. 90-91.
28. Ткачук О.П., Панкова С.О. Екологічна стійкість дерев полезахисних лісосмуг до атмосферних забруднень. *Збалансоване природокористування (Екологія)*. 2021. № 1. С. 82-91.
29. Turner A.P., Dickinson M.N., Leed N.W. Indices of metal tolerance in trees. *Water, Air and Soil Pollution*. 1991. Vol. 57-58. P. 617-625.
30. Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В. Екологічні біотехнології : теорія і практика : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.
31. Дуднік С.Г., Кравчук Г.І. Модулювання надходження важких металів у листову масу деревних рослин придорожніх смуг. *Agricultural sciences. Colloquium-journal*. 2021. № 15(102). С. 14-18.