

ЗМІНИ МОРФОЛОГО-АНАТОМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЛИСТКІВ ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛИПИ ПІД ВПЛИВОМ АЕРОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Інна БЕСЕГАНИЧ, Ярослава ГАСИНЕЦЬ, Роман КІШ

Досліджено морфометричні параметри та зміну ступеня ксероморфності (товщину листка і кутикули, кількість продихів, опушення) листків у двох видів липи (*Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop.) зелених насаджень м. Ужгород з трьох локалітетів, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та атмосферного забруднення. Площа листків у *T. cordata* варіює у межах 29,9–37,3 см², у *T. platyphyllos* на 10,5% більша – 41,3–46,2 см². У *T. platyphyllos* загальна площа листків була більшою у дерев, що ростуть у зоні транспортного і промислового забруднення, ніж у дерев із зони рекреації. На листках обох видів липи виявлені пошкодження у вигляді некрозів та хлорозів. У *T. cordata* виявлені всі види макроскопічних змін листків: хлорози, пожовтіння країв, міжжилкові, точкові та плямисті, а також крайові некрози. Найбільша площа некрозів у досліджуваних видів спостерігалась у зоні транспортного навантаження. *T. platyphyllos* проявляє меншу чутливість до дії атмосферного забруднення порівняно з *T. cordata*, на її деревах виявлено суттєво менше листків із некрозами і хлорозами.

Згідно з анатомічними дослідженнями товщина кутикули листків у *T. cordata* – 8,75–12,5 мкм, у *T. platyphyllos* – 6,25–8,75 мкм. У зоні промислового та транспортного забруднення спостерігається зменшення товщини листкової пластинки на 5–13%, а також зменшення розміру клітин епідерми. Кількість та розміри продихів, а також їхня форма неоднакові у досліджених видів лип. Довжина продихів у *T. cordata* – 22,5–27,5 мкм, ширина – 15–20 мкм. У зонах транспортного забруднення у листків досліджуваних видів продихові клітини епідерми листків були менші за розмірами, кількість відкритих пор була також меншою, а от щільність продихів на одиницю площі була більшою порівняно з продиховими клітинами епідерми із зони рекреації.

T. cordata достовірно реагує на дію атмосферних забруднювачів, що дозволяє використовувати цей вид для біомоніторингу. *T. platyphyllos*, навпаки, виявила стійкість до чинників аерогеного забруднення, має широкий адаптивний потенціал листкового апарату, що дозволяє рекомендувати цей вид для створення та реконструкції міських насаджень в умовах підвищеної загазованості.

Ключові слова: рід *Tilia*, атмосферне забруднення, зелені насадження, морфолого-анатомічні ознаки листка, біоіндикація, Ужгород.

Кафедра ботаніки, Ужгородський національний університет, вул. А. Волошина, 32, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: inna.beseganich@uzhnu.edu.ua, yaroslava.hasynets@uzhnu.edu.ua, kish.roman@student.uzhnu.edu

Changes in the morphological and anatomical structure of the leaves some types of linden under the influence of aerogenic pollution. Beseganich I., Hasynets Ya., Kish R.

The morphometric parameters and changes in the degree of xeromorphism (thickness of the leaf and cuticle, number of stomata, drooping) of the leaves of two species of linden (*Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop.) in green stands of the city of Uzhhorod from three localities that differ in the degree of anthropogenic load and atmospheric pollution were studied. The area of leaves in *T. cordata* varies between 29.9–37.3 cm², in *T. platyphyllos* it is 10.5% larger – 41.3–46.2 cm². In *T. platyphyllos*, the total leaf area was greater in trees growing in the zone of transport and industrial pollution than in trees from the recreation zone. Damage in the form of necrosis and chlorosis was detected on the leaves of both types of linden. In *T. cordata*, all types of macroscopic leaf changes were detected: chlorosis, yellowing of the edges, interveinal, point and spotted, as well as marginal necrosis. The largest area of necrosis in the studied species was observed in the transport load zone. *T. platyphyllos* shows less sensitivity to atmospheric pollution compared to *T. cordata*, significantly fewer leaves with necrosis and chlorosis were found on its trees.

According to anatomical studies, the thickness of the cuticle of leaves in *T. cordata* is 8.75–12.5 microns, in *T. platyphyllos* – 6.25–8.75 microns. In the zone of industrial and transport pollution, there is a decrease in the thickness of the leaf plate by 5–13%, as well as a decrease in the size of epidermal cells. The number and size of the stomata, as well as their shape, are different in the investigated linden species. The length of the stomata in *T. cordata* is 22.5–27.5 microns, the width is 15–20 microns. In the transport pollution zones, the stomatal cells of the epidermis of the leaves of the studied species were smaller in size, the number of open pores was also smaller, but the density of stomata per unit area was higher compared to the stomatal cells of the epidermis from the recreation zone.

T. cordata reliably responds to atmospheric pollutants, which allows the use of this species for biomonitoring. *T. platyphyllos*, on the contrary, showed resistance to factors of aerogenic pollution, has a wide adaptive potential of the leaf apparatus, which allows recommending this species for the creation and reconstruction of urban plantations in conditions of increased gas pollution.

Key words: genus *Tilia*, atmospheric pollution, green vegetation, morphological and anatomical characteristics of a leaf, bioindication, Uzhhorod.

Department of Botany, Uzhhorod National University, 32, A. Voloshyna str., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: inna.beseganych@uzhnu.edu.ua, yaroslava.hasynets@uzhnu.edu.ua, kish.roman@student.uzhnu.edu

Вступ

Забруднення атмосфери, пов'язане зі швидкими темпами урбанізації та індустріалізації, є однією з глобальних проблем сучасності, насамперед у густо населених регіонах Європи. Погіршення якості повітря загрожує здоров'ю людей, критично впливає на представників флори та фауни, прискорює кліматичні зміни тощо (Mag et al. 1996; Russo et al. 2021).

Зелені насадження населених пунктів мають здатність зменшувати кількість забруднюючих речовин у атмосфері акумулюючи їх, тому використання природного потенціалу насаджень в урболандшафтах може суттєво вплинути на якість навколишнього середовища загалом та забруднення атмосфери зокрема. Такий вплив є залежним від багатьох факторів: кліматичних особливостей регіону, природи забруднювачів, видового складу, щільності та площ зелених насаджень (Jeanjean et al. 2017; Vieira et al. 2018; Sgrigna et al. 2020; Terekhina 2020). Тому нині зелені насадження є не тільки архітектурно-естетичною складовою частиною урбосередовища, але й потужним регулятором якості атмосфери. Крім того, вони можуть бути використані як ефективні біоіндикатори забруднення середовища, значною мірою замінюючи технологічний арсенал моніторингу атмосфери.

Зелені рослини у сучасних містах перебувають під впливом цілої низки негативних факторів. Розкриття адаптаційних можливостей деревних видів рослин до умов урбанізованого середовища є одним із актуальних завдань сучасної біологічної науки. Тому в останні десятиліття питанню вивчення механізмів адаптації рослинних організмів до умов зміненого середовища населених пунктів приділяється значна увага (Ilinska, Androshchuk 1979; Lykholat et al. 2002; Kapeliush 2012; Gromke, Ruck 2008; Mishra, Pandey 2011; Sæbø et al. 2012;

Chwil et al. 2015; Adrees et al. 2016; Jeanjean et al. 2017; Liu 2018; Sgrigna et al. 2020).

Особливий антропогенний тиск відчувають насадження, які розташовані вздовж транспортних магістралей. Тому під час добору асортименту для створення стійких зелених насаджень придорожньої зони необхідно спиратися на показники оцінки стану рослин за цих умов, серед яких заслуговують на увагу морфометричні.

Листки рослин через безпосередній контакт першими реагують на дію забруднювачів атмосфери, що проявляється у певних фізіологічних, морфологічних та анатомічних змінах їхньої структури, ступінь яких залежить від характеру забруднювачів, їхніх концентрацій та співвідношення, виду рослин, умов їх зростання (Ilinska, Shevera 2004; Sæbø et al. 2012; Chwil et al. 2015; Adrees et al. 2016; Jeanjean et al. 2017; Liu 2018). Діагностування та кількісне визначення рівня пошкодження листків є одним із методів оцінки якості міського середовища.

Представники роду *Tilia* L. є одними з кращих та найпоширеніших деревних порід, які висаджуються для озеленення в умовах Центральної Європи та часто використовуються у вуличних і паркових посадках (Lysenko 2007; Herbut 2008; Pikhalo 2010; Veličković 2010; Sæbø et al. 2012; Ponomariova 2013a; Hasynets et al. 2018; Beseganych et al. 2020a; 2020b; Koliienkina 2020; Terekhina 2020; Gibadulina et al. 2022). Вивчення адаптаційних можливостей цих видів у міському середовищі базується на оцінці відносного життєвого стану насаджень (Hasynets et al. 2018; Beseganych et al. 2020a; 2020b), особливостей анатомічної і морфологічної структури (Kapeliush 2012; Ponomariova 2013b; Kosiba 2008; Veličković 2010), особливостей фізіологічних і біохімічних процесів (Khavanin et al. 2013; Sæbø et al. 2012; Terekhina 2020).

За даними лабораторії спостереження за забрудненням атмосферного повітря Закарпатського обласного центру з гідрометеорології, комплексний індекс забруднення атмосферного повітря (КІЗА) в Ужгороді характеризується високим рівнем ($7 \leq IZA5 \leq 13$). Крім того, ситуація в Ужгороді погіршується особливими метеорологічними умовами, що зумовлені географічним положенням – місто розташоване в природній котловині, внаслідок чого упродовж року спостерігається 70% днів, коли швидкість вітру менше 3 м/с (повний штиль). Тому повітряні маси затримуються і продовжують циркулювати в межах міста. Забруднення повітря перевищує норму за запиленістю, кількістю оксидів азоту в півтора рази, концентрація формальдегіду (що є одним з найбільш небезпечних канцерогенів) часом перевищує гранично допустиму концентрацію у п'ять разів, а концентрація бензопірену – одного з найшкідливіших компонентів вихлопних газів – у 2,2 рази (Lobko 2004; Homonai et al. 2012).

Метою роботи було дослідження впливу аерогенного забруднення на морфолого-анатомічну структуру листків представників роду *Tilia*, які широко використовуються в озелененні міста Ужгород.

Матеріал і методика

Об'єктами дослідження були *Tilia platyphyllos* Scop. та *Tilia cordata* Mill., які ростуть у різних районах міста, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та атмосферного забруднення, а саме: зона рекреації (набережна Незалежності), зона промислового забруднення (район фанерно-меблевого комбінату – електростанція), зона транспортного забруднення (вул. Мукачівська). Зразки листків були відібрані із середньовікових дерев, які характеризувались добрим життєвим станом. Для визначення

макроскопічних змін із п'яти дерев на кожній тест-ділянці із середньої частини крони на висоті від 1,5 до 2,5 м штанговими ножицями зрізали по одній гілці, на якій відбирали по 25 листків. Збір матеріалу здійснювали із середини червня по липень, оскільки передчасне опадання листків внаслідок некрозів можуть бути оцінені тільки в певний період часу. Площу листків визначали за їхніми параметрами (Voiko et al. 2000; Maluchenko, Nepeina 2021). Кількість і щільність некротичних і хлоротичних плям та ділянок (iLA) вважалися симптомами пошкодження листків. Кількість некротичних плям підраховували візуально, їхню щільність – шляхом ділення кількості некротичних плям на загальну площу листка (плями на cm^2) (Khavaninzadeh et al. 2014).

Дослідження проводили на поперечних зрізах листків. Визначали такі анатомічні ознаки листків: розмір продохів та їхню кількість на одиницю площі листка, товщину листка та товщину зовнішньої оболонки клітин епідерми.

Мікрофотографії є оригінальними та зроблені з тимчасових препаратів за допомогою мікроскопа Granum R 6053 за різних збільшень. Статистична обробка досліджуваних морфометричних параметрів виконана за допомогою програми STATISTICA 12.

Результати та обговорення

Площа листків досліджених особин *T. cordata* варіювала від 29,9 до 37,3 cm^2 . У *T. platyphyllos* площа листків коливалась від 41,3 до 46,2 cm^2 . У останнього виду загальна площа листків була більшою у дерев, що ростуть у зоні транспортного і промислового забруднення, ніж у дерев із зони рекреації. Цю тенденцію відзначають і для інших представників роду *Tilia* (Oleksiichenko, Likhanov 2016). У *T. platyphyllos* площа листків була у серед-

Таблиця 1. Площа листків *Tilia cordata* та *T. platyphyllos* з різних районів міста, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та атмосферного забруднення

Table 1. Square of the leaves of *Tilia cordata* and *T. platyphyllos* from different localities of the city, which differ in the degree of anthropogenic load and atmospheric pollution

Місце збору	Середнє, cm^2	Стандартна похибка	Мінімальне значення	Максимальне значення
<i>Tilia cordata</i>				
зона рекреації	37,3	1,9	15,9	59,9
зона промислового забруднення	32,4	0,7	10,8	42,8
зона транспортного забруднення	29,9	0,8	9,2	44,3
<i>Tilia platyphyllos</i>				
зона рекреації	41,3	2,1	28,6	48,9
зона промислового забруднення	44,5	2,9	27,1	59,2
зона транспортного забруднення	46,2	3,2	30,9	62,2

ньому на 10,5% більша, ніж у *T. cordata*. Обидва види не показали значної відмінності у площі листків між зонами з різним ступенем антропогенного навантаження (табл. 1). Це вказує на те, що площа листків є показником, на який суттєво не впливає якість середовища існування, що підтверджує висновки Kardel et al. (2013).

Також були розглянуті такі пошкодження листка, як некроз (омертвіла тканина листка з коричневими плямами) і хлороз (тканина листка зі зниженим вмістом хлорофілу у вигляді жовтої плями). В результаті проведених досліджень у рослин *T. cordata* були виявлені всі види макроско-

пічних змін листків: хлорози, пожовтіння країв, міжжилкові, точкові та плямисті, а також крайові некрози. У рослин *T. platyphyllos* спостерігались тільки міжжилкові, точкові та плямисті некрози. Площа і відсоток пошкоджень у разі точкових і плямистих некрозів – найменші, але при цьому виді пошкоджень спостерігаються перетворення некрозів на розриви (рис. 1).

Найбільша кількість некротичних плям для обох видів спостерігалась у зоні транспортного навантаження, тоді як найменша кількість – у зоні рекреації (табл. 2). Середня щільність некротичних плям у *T. cordata* коливалася від 0,38 до 0,80 плям



Рис. 1. Точкові та плямисті некрози листків липи серцелистої (*Tilia cordata* L.) на набережній Незалежності в м. Ужгород

Fig. 1. Point and spot necrosis of the leaves of the (*Tilia cordata* L.) on the Nezalezhnosti embankment in Uzhhorod city

Таблиця 2. Статистика некрозів на листках *Tilia cordata* та *T. platyphyllos* з різних районів міста, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та атмосферного забруднення

Table 2. Statistics of necrosis on the leaves of *Tilia cordata* and *T. platyphyllos* from different districts of the city, which differ in the degree of anthropogenic load and atmospheric pollution

Параметр	Середнє значення	Стандартна похибка	Мінімальне значення	Максимальне значення
Кількість некротичних плям, од.				
<i>Tilia cordata</i>				
зона рекреації	14,3	4,1	4,0	41,0
зона промислового забруднення	22,4	5,2	3,2	57,6
зона транспортного забруднення	30,5	2,7	4,7	66,0
<i>Tilia platyphyllos</i>				
зона рекреації	2,1	0,9	0,6	5,0
зона промислового забруднення	5,2	1,9	1,3	7,7
зона транспортного забруднення	6,9	2,6	2,0	26,7
Щільність некротичних плям (к-сть плям на см ²)				
<i>Tilia cordata</i>				
зона рекреації	0,38	0,1	0,10	1,2
зона промислового забруднення	0,74	0,1	0,20	1,7
зона транспортного забруднення	0,80	0,2	0,23	1,7
<i>Tilia platyphyllos</i>				
зона рекреації	0,14	0,04	0,00	0,40
зона промислового забруднення	0,22	0,04	0,04	0,78
зона транспортного забруднення	0,23	0,06	0,1	0,37

на cm^2 і від 0,14 до 0,23 плям на cm^2 у *T. platyphyllos* відповідно (табл. 2). Кількість і щільність некротизованих листків *T. cordata* та *T. platyphyllos* були достовірно ($P < 0,01$) вищі для зони транспортних навантажень порівняно з іншими ділянками.

Товщина кутикули листків у *T. cordata* варіювала в межах від 8,75 до 12,5 мкм (середнє значення – $10,42 \pm 0,7$), у *T. platyphyllos* – від 6,25 до 8,75 мкм (середнє значення – $7,83 \pm 0,36$). На поверхні кутикули добре розвинений восковий шар. Будучи біологічним захисним бар'єром, він зв'язує важкі метали з пилю, чим зменшує їхнє проникнення в тканини листків (Mishra, Pandey 2011).

Як показали наші дослідження, в зоні промислового та транспортного забруднення спостерігається зменшення товщини листової пластинки на 5–13%, а також зменшення розміру клітин епідерми. Про структурні зміни листків у *T. cordata*, зокрема зменшення їхньої товщини та кількості епідермальних клітин у дерев забруднених місцез-

ростань, вказують і інші дослідники (Khavanin et al. 2013, Chwil et al. 2015).

Кількість та розміри продихів, а також їхня форма неоднакові у досліджених видів лип (рис. 3). Довжина продихів у *T. cordata* варіює в межах від 22,5 до 27,5 мкм (середнє значення $23,93 \pm 0,66$); ширина – від 15 до 20 мкм (середнє значення $17,66 \pm 0,8$).

У зонах транспортного забруднення у листків досліджуваних видів продихові клітини епідерми листків були менші за розмірами, кількість відкритих пор була також меншою, а от щільність продихів на одиницю площі була більшою порівняно з продиховими клітинами епідерми із зони рекреації. Аналогічні результати були отримані під час досліджень, проведених у Польщі (Chwil et al. 2015; Veličković 2010), Бельгії (Sæbø et al. 2012), Китаї (Liu et al. 2018).

Висновки

Досліджено морфо-анатомічну будову листків у двох видів липи (*T. cordata*, *T. platyphyllos*)

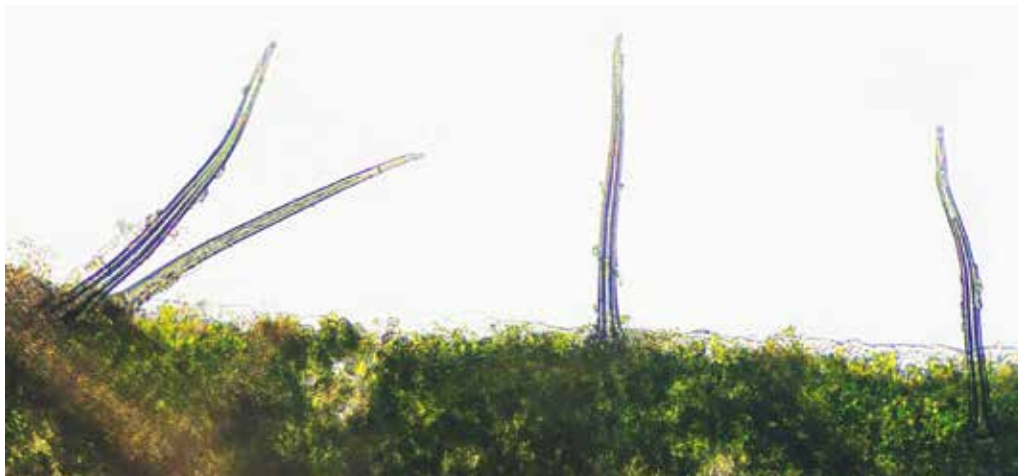


Рис. 2. Прості однорядні волоски на листку *Tilia platyphyllos* (16×10)

Fig. 2. Simple single-rowed hairs on a leaf of *Tilia platyphyllos* (16×10)

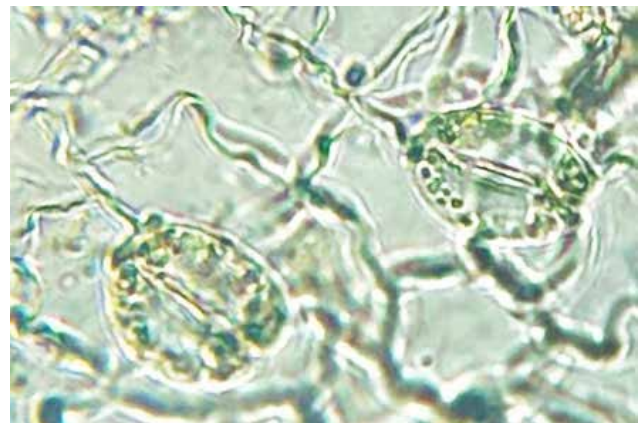


Рис. 3. Продихи на епідермі листка у *Tilia cordata* (зліва) та *T. platyphyllos* (справа) (16×40)

Fig. 3. Stomata on the epidermis of a leaf in *Tilia cordata* (left) and *T. platyphyllos* (right) (16×40)

зелених насаджень м. Ужгород з трьох локалітетів, що відрізняються за ступенем антропогенного навантаження та атмосферного забруднення.

У зоні промислового та транспортного забруднення в обох досліджених видів спостерігається збільшення площі некрозів листків (хоча значно менше у листків *T. platyphyllos*), зменшення товщини листової пластинки та розміру клітин епідерми, в т.ч. і продихових клітин, а також зменшення кількості відкритих пор, але, з іншого боку, виявлено збільшення

щільності продихів на одиницю площі листової поверхні.

Отримані дані свідчать, що *T. cordata* достовірно реагує на дію антропогенних факторів, зокрема атмосферного забруднення, що дає можливість використовувати цей вид для біомоніторингу. *T. platyphyllos*, навпаки, виявила стійкість до чинників аерогенного забруднення, має широкий адаптивний потенціал листового апарату, що дозволяє рекомендувати цей вид для створення та реконструкції міських насаджень в умовах підвищеної загазованості.

- ADREES, M., IBRAHIM, M., SHAH, A.M., ABBAS, F., SALEEM, F., RIZWAN, M., HINA, S., JABEEN, F. AND ALI, S. (2016) Gaseous pollutants from brick kiln industry decreased the growth, photosynthesis, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1–11.
- BAMBAWALE, O.M. (1986) Evidence of ozone injury to a crop plant in India. *Atmospheric Environment*, 20, 1501–1503.
- BESEGANYCH, I.V., HASYNETS, Ya.S., KISH, R.Ya., SOIMA, A.D. (2020) Derevno-chaharnykovy nasadzhenia mikroraiou «Malyi Halahov» m. Uzhhoroda – istoriia formuvannia ta suchasnyi stan. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University, Series Biology*, 48, 56–71. (in Ukrainian). DOI: 10.24144/1998-6475.2020.48.56-71
- BESEGANYCH, I.V., HASYNETS, Ya.S., KISH, R.Ya., SOIMA, A.D., VAKERYCH, M.M. (2020) Parky ta skvery istorychnoho mikroraiou «Malyi Galagov» m. Uzhhoroda. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University, Series Biology*, 49, 7–35. (in Ukrainian). DOI: 10.24144/1998-6475.2020.49.7-35
- BOIKO, I.V., BOHOLIUBOV, V.M., VYSHENSKA, I.H., DIDUKH, YA.P., ZAMOSTIAN, V.P., ISAIIEV, S.D., KARPENKO, V.I. (2000) *Laboratornyi ta poliovyi praktykum z ekolohii*. Fitosotsiotsentr, Kyiv. (in Ukrainian).
- BRAUN, S., FLUCKIGER, W. (1984) Increased population of the aphid *Aphis pomi* at a motorway. The effect of drought and deicing salt. *Environmental Pollution*, 36, 261–270.
- CHWIL, S., KOZŁOWSKA-STRAWKA, J., TKACZYK, P., CHWIL, P., MATRASZEK, R. (2015) Assessment of air pollutants in an urban agglomeration in Poland made by the biomonitoring of trees. *Journal of Elementology*, 20 (4), 813–826. DOI: 10.5601/jelem.2015.20.1.742
- GIBADULINA, I.I., LARIONOV, M.V., MASLENNIKOVA, N.N. (2022) Anatomical and morphological features of the leaves of *Tilia cordata* Mill. as an indicator of the adaptive capabilities of the species to the conditions of the urban environment. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 88, 2.
- GRODZKI, W., MCMANUS, M., KNIZEK, M., MESHKOVA, V., MIHALCIUC, V., NOVOTNY, J., TURCANI, M. (2004) Occurrence of spruce bark beetles in forest stands at different levels of air pollution stress. *Environmental Pollution*, 130, 73–83.
- HASYNETS, Ya.S., BESEHANYCH, I.V., KISH, R.Ya., SOIMA, A.D., VAKERYCH, M.M. (2017) Dendroflora skveru pl. Sh. Petefi ta yii suchasnyi stan. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University, Series Biology*, 42, 94–105. (in Ukrainian)
- HERBUT, O.V. (2008). Bioloichni osoblyvosti dekoratyvnykh derevnykh porid, yaki vykorystovuiutsia v ozelenenni mista Umani. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, 18(1), 22–27. (in Ukrainian)
- HOMONAI, V.I., KOMAR, A.V., FEDORISHKO, M.I., LOBKO, V.Yu., ZUB, S.A. (2014) Pokaznyky zabrudnennia povitria v m. Uzhhorodi v rizni periody roku. *Ekolohichni visnyk*, 3(84), 19. (in Ukrainian)
- ILINSKA, A.P., ANDROSHCHUK, O.F. (1979) Anatomichna budova epidermisu lystkiv *Achillea nobilis* L. zalezho vid umov mistsezrostannia roslin. *Ukrainian botanical journal*, 36(4), 302–307. (in Ukrainian)
- ILINSKA, A.P., SHEVERA, M.V. (2004) Struktura poverkhni lystkiv predstavnykiv rodov *Lepidium* L. ta *Cardaria* Desv. (Brassicaceae). *Ukrainian botanical journal*, 61(2), 115–124. (in Ukrainian)
- JEANJEAN, A.P., BUCCOLIERI, R., EDDY, J., MONKS, P.S., LEIGH, R.J. (2017) Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London. *Urban For Urban Green*, 22, 41–53.
- KAPELIUSH, N.V. (2012) Vplyv aerohehnoho zabrudnennia na pokaznyky asymiliatsiinoho aparatu derevnykh roslin mista Zaporizhzhia. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu, Bioloichni nauky*, 3, 111–115. (in Ukrainian)
- KARDEL, F., WUYTS, K., KHAVANINZADEH, A.R., WUYTACK, T., DE SMEDT, S., BABANEZHAD, M., SAMSON, R. (2013). Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM) with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality. *Environmental Pollution*, 183, 96–103.

- KHAVANINZADEH, A.R., VEROUSTRAETE, F., BUYTAERT, J.A., DIRCKX, J., SAMSON, R. (2013) Assessing urban habitat quality using spectral characteristics of *Tilia* leaves. *Environmental Pollution*, 178, 7–14.
- KHAVANINZADEH, A.R., VEROUSTRAETE, F., BUYTAERT, J.A.N., SAMSON, R. (2014) Leaf injury symptoms of *Tilia* sp. as an indicator of urban habitat quality. *Ecological Indicators*, 41, 58–64.
- KOLIENKINA, M.S. (2020) Stan lypy dribnolystoi (*Tilia cordata* Mill.) u zelenykh nasadzhenniakh mista Kharkiv (za danymy vesnianoho obstezhennia). *Naukovi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, 30, 5, 25–30. (in Ukrainian)
- KOSIBA, P. (2008) Variability of morphometric leaf traits in small-leaved Linden (*Tilia cordata* Mill.) under the influence of air pollution. *Acta Societatis Botanicorum Polonia*, 77, 2, 125–127.
- LIU, J., CAO, Z., ZOU, S., LIU, H., HAI, X., WANG, S., et al. (2018) An investigation of the leaf retention capacity, efficiency and mechanism for atmospheric particulate matter of five greening tree species in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 616–617, 417–426.
- LOBKO, V.Yu. (2004) U povtri Uzhhoroda «litaie» form-aldehyd. *Pryroda*, 2, 3–4. (in Ukrainian)
- LYKHOLAT, Yu.V., KUCHMA, V.M., SEMENKO, A.V., ANTONECHKO, N.O. (2002) Zminy anatomichnoi budovy lystkiv osnovnykh dernoutvoriuichykh trav v umovakh promysloвого zabrudnennia. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 7(1), 3–9. (in Ukrainian)
- LYSENKO, M. (2007) Zeleni nasadzhennia v urbanizovanomu seredovyshchi m. Ivano-Frankivska. *Visnyk Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu im. V. Stefanyka*, VII–VIII, 236–241. (in Ukrainian)
- MAGE, D., OZOLINS, G., PETERSON, P., WEBSTER, A., ORTHOFER, R., VANDEWEERD, V. AND GWYNNE, M. (1996) Urban air pollution in mega-cities of the world. *Atmospheric Environment*, 30, 681–686.
- MALUCHENKO, I.O., NEPEINA, G.V. (2021) *Metodichni vkazivki dlia provedennia laboratornykh robit z biolohii z osnovamy bioekolohii dlia studentiv spetsialnosti «101» Ekolohia». Vydavnytstvo ChNU, Mykolaiiv. (in Ukrainian)*
- MISHRA, S., PANDEY, R.S. (2011) Effects of air pollution on plants in urban area: a case study of Ghaziabad (U.P) India. *International Journal of Technical and Non-Technical Research*, 2(5), 262–266.
- OLEKSIICHENKO, N.O., LIKHANOV, A.F. (2016) Variabelnist morfolohichnykh i biokhimichnykh oznak lystkiv roslyn rodu *Tilia* L. v urbosedovyshchi. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy: zbirnyk naukovykh prats*, 14, 23–30. (in Ukrainian)
- PIKHALO, O.V. (2010) Taksonomichniy analiz dendroflory istorichnoi chastyny m. Kyieva. *Naukovi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 147, 56–63. (in Ukrainian)
- PONOMARIOVA, O.A. (2013) Poshyrennia predstavnykiv rodu *Tilia* L. u nasadzhenniakh m. Dnipropetrovska. *Naukovi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, 23(8), 56–61. (in Ukrainian)
- PONOMARIOVA, O.A. (2013) Zminy anatomichnoi budovy lystkiv derev rodu *Tilia* L. yak pokaznyk adaptatsii do riznykh do riznykh umov zrostannia. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 18(2), 105–120. (in Ukrainian)
- RIBAS, A., PENUELAS, J. (2003) Biomonitoring of tropospheric Ozone phytotoxicity in rural Catalonia. *Atmospheric Environment*, 37, 63–71.
- RUSSO, A., CHAN, W.T., CIRELLA, G.T. (2021) Estimating Air Pollution Removal and Monetary Value for Urban Green Infrastructure Strategies Using Web-Based Applications. *Land*, 10(8), 788.
- SÆBØ, A., POPEK, R., NAWROT, B., HANSLIN, H.M., GAWRONSKA, H., GAWRONSKI, S.W. (2012) Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment*, 427–428, 347–354.
- SGRIGNA, G., BALDACCHINI, C., DREVECK, S., CHENG, Z., CALFAPIETRA, C. (2020) Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment. *Science of The Total Environment*, 718, 137310.
- SKELLY, J.M., INNES, J.L., SAVAGE, J.E., SNYDER, K.R., VANDERHEYDEN, D., ZHANG, J., SANZ, M.J. (1999) Observation and confirmation of foliar ozone symptoms of native plant species of Switzerland and Southern Spain. *Water, Air and Soil Pollution*, 116, 227–234.
- SMITH, G., COULSTON, J., JEPSEN, E., PRICHARD, T. (2003) A national ozone bio-monitoring program results from field surveys of ozone sensitive plants in Northeastern forests (1994–2000). *Environmental Monitoring and Assessment*, 87, 271–291.
- TEREKHINA, N. (2020) Green spaces as indicator of air quality and mechanism for city's environment stabilization in the Baltic region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 578, 012056.
- TSARENKO, O.M., VAKULENKO, T.B., DOROSHENKO, O.K., KARPENKO, N.I. (2016) Morfolohichni osoblyvosti lystkiv vydiv rodu *Tilia* L. (seksiia *Anastraea* Engl.). *Introduktsiia roslyn*, 3, 38–48. (in Ukrainian)
- VIEIRA, J., MATOS, P., MEXIA, T., SILVA, P., LOPES, N., FREITAS, C. et al. (2018) Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks. *Environmental Research*, 160, 306–313.
- VELIČKOVIĆ, M. (2010) Reduced developmental stability in *Tilia cordata* leaves: effects of disturbed environment. *Periodicum biologorum*, 112 (3), 273–281.
- WEINSTEIN, L.H., DAVISON, A.W. (2003) Native plant species suitable as bioindicators and bio-monitors for airborne fluoride. *Environmental Pollution*, 125, 3–11.
- WELFARE, K., YEO, A.R.J., TIMOTHY, F. (2002) Effects of salinity and ozone, individually and in combination, on the growth and ion contents of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. *Environmental Pollution*, 120, 397–403.