
ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 634.54:581.54

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.25>

ОЦІНКА АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ЛИПИ СЕРЦЕЛИСТОЇ (*TILIA CORDATA* MILL.) ДО ЗАБРУДНЕННЯ УРБОФІТОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Василенко О.В.¹, Балабак О.А.², Балабак А.В.^{1,2}, Нікітіна О.В.¹

¹Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань

²НДП «Софіївка» НАН України

вул. Київська 12А, 20300, м. Умань

vsolga05@gmail.com, A.V.Balabak@ukr.net, ooolga@ukr.net, o.a.balabak@ukr.net

Останніми роками спостерігається скорочення площі під міською рослинністю. Основною причиною втрати та деградації зелених насаджень є антропогенний фактор. В даній статті проаналізовано потенціал використання липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в озелененні територій міст, які піддаються запиленню, в контексті змін клімату. Для вирішення поставлених завдань дослідження проведено аналіз адаптації рослин липи серцелистої до запилення середовища урбоєкосистеми м. Умань в умовах підвищення температур повітря. За результатами досліджень, що проводились на території м. Умань, можна зробити висновок, що в умовах збільшення за останні роки середньорічної температури повітря в середньому на 2,6 °C відбувається також і інтенсивне запилення атмосферного повітря внаслідок роботи автотранспорту. Для визначення локації із найбільш запиленим повітрям проведено аналіз завантаженості вулиць автотранспортом і визначено, що найбільша запиленою є одна із центральних вулиць – вулиця Незалежності.

Дослідженнями було доведено, що за умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів і тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму. Автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля. Таким чином, стійкість рослин липи серцелистої до дії забруднення може бути пояснена посиленням ксероморфності структури листової пластинки. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватися до потепління клімату. **Ключові слова:** липа серцелиста, міські фітоценози, адаптація, зміни клімату, запилення, ксероморфність.

Assessment of adaptation of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) plants to the pollution of urbophytocenoses under conditions of climate changes. Vasylenko O., Balabak O., Balabak A., Nikitina O.

In recent years, a reduction in the area under urban vegetation can be seen. The main reason for the loss and degradation of green spaces is the anthropogenic factor. This article analyzes the potential of using the small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in landscaping urban areas exposed to dust in the context of climate changes. To achieve the objectives of the study, the adaptation of the small-leaved linden plants to the dusting of the environment of the city of Uman urban ecosystem under conditions of increasing air temperatures was analyzed. Based on the results of studies conducted on the territory of the city of Uman, it can be concluded that in the context of an increase in the average annual air temperature by an average of 2.6 °C in recent years, intensive dusting of the atmospheric air due to the vehicles operation also occurs. To determine the location with the dustiest air, an analysis of the congestion of streets by vehicles was carried out and it was determined that one of the central streets, Nezalezhnosti Street, is the dustiest.

The studies have shown that at a high level of dusting, green plantings of small-leaved linden act as natural filters and therefore they are forced to adapt to stress with the help of anatomical and morphological reorganization of the organism. Vehicle emissions, even under conditions of climate warming, affect the structural elements of the leaf blade of small-leaved linden, especially integumentary tissues, since the epidermis of plants performs barrier and protective functions. As a result, under conditions of severe pollution (Nezalezhnosti st.), in comparison with samples from a relatively unpolluted territory (the territory of the NDP «Sofiyivka»), plants are forced to develop a thicker cuticle, which allows them to protect themselves from the effects of negative environmental factors. Thus, the resistance of small-leaved linden plants to the effects of the pollution can be explained by the increased xeromorphism of the leaf blade structure. This, in turn, allows small-leaved linden plants to adapt to the climate warming. **Key words:** small-leaved linden, urban phytocenoses, adaptation, climate changes, dusting, xeromorphism.

Постановка проблеми. Розширення урбанізації сьогодні є одним із провідних видів зміни землекористування. У 2005 році 49,2 % населення світу проживало в містах, і, як очікується, до 2030 року ця кількість досягне 60 % [1]. Кількість міського населення

в Україні вже перевищує 70 %, тоді як у розвинених країнах світу загалом міське населення становить понад 80 % загальної кількості населення країни [2]. Тому, міста поступово стають місцем поселення більшості населення Землі. Але інтенсивна промислова

та господарська діяльність у містах призводить до підвищення рівня забруднення атмосферного повітря. Все це ускладнюється актуальною на даний час проблемою зміни клімату.

Наслідки урбанізації та зміна клімату небезпечним чином поєднуються, загрожуючи екологічній, економічній та соціальній стабільності у світі. І хоча міські території, з їх високою концентрацією населення, промисловості та інфраструктури, швидше за все, зіткнуться з найбільш жорсткими впливами зміни клімату, урбанізація також пропонує безліч можливостей розвитку комплексних стратегій щодо пом'якшення наслідків та адаптації до кліматичних змін.

Однією із основних таких можливостей є система правильно підбраного міського озеленення. Вона є основою муніципального реагування на наслідки змін клімату, оскільки є простим і дешевим засобом ефективного управління якістю міського повітря [3].

Актуальність дослідження. Міські зелені насадження мають найбільше значення для загального вигляду міста та якості життя в ньому. Останніми роками спостерігається скорочення площі під міською рослинністю. Основною причиною втрати та деградації зелених насаджень є антропогенний фактор, а саме забруднення повітря, посуха, високі температури, забруднення ґрунту та води [4].

Тому, актуальними в даний час стають питання реконструкції та поновлення міських насаджень. У зв'язку з цим, важливим є вивчення впливу міського середовища на найбільш поширений вид міських дерев – липа серцелиста (*Tilia Cordata* Mill.).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені результати дослідження є висновками із проведеної наукової роботи, що виконувалась в межах комплексних досліджень кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва за темою: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування», державний номер реєстрації – 0108U009772, відділу генетики, селекції та репродуктивної біології рослин Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України за темою: «Інтенсифікація технологій інтродукції та впровадження садивного матеріалу декоративних деревних рослин, перспективних для використання в урбанізованому середовищі», державний номер реєстрації – 0121U107725 і відділу дендрології та паркобудівництва Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України за темою: «Теоретичні основи оптимізації садово – паркових фітоценозів», державний номер реєстрації – 0119U002009.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно результатів дослідження [5; 6] дерева роду *Tilia* дуже часто використовуються для міського озеленення в країнах, що розташовані в помірно-континентальному кліматичному поясі. Причина цьому – високі адаптаційні властивості та толерантність представ-

ників даного виду. Крім того вони придатні для біомоніторингу [7].

Українськими науковцями проаналізовано доцільність озеленення міст деревними рослинами видів роду *Tilia* L. на основі аналізу показників естетичності та схильності до уражень паразитичними формами [8], цінних декоративних та господарських якостей [9], високих адаптаційних показників [10]. Проте, проблема морфологічних змін листків рослин даного роду внаслідок забруднення повітря та змін клімату урбоєкосистем не розкрита.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В даній статті проаналізовано потенціал використання липи серцелистої (*Tilia Cordata* Mill.) в озелененні територій міст, які піддаються запиленню, в контексті змін клімату. Крім того, вперше вивчено анатомо-морфологічні перебудови організму за умов високого рівня запилення.

Новизна. Проведено екологічну оцінку адаптації рослин липи серцелистої до умов техногенного середовища міста Умань, для цього визначено особливості росту та розвитку рослин залежно від умов існування. Оцінено стійкість рослин липи серцелистої до атмосферних забруднень у фонових умовах потепління клімату.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для вирішення поставлених завдань дослідження проведено аналіз адаптації рослин липи серцелистої до запилення середовища урбоєкосистеми м. Умань в умовах підвищення температур повітря. Представлені дослідження дозволяють наблизитись до розв'язання проблем стійкості міських зелених насаджень до забруднення за рахунок анатомо-морфологічних перебудов, а саме посилення ксероморфності структури листової пластинки.

Викладення основного матеріалу. Дослідження проводились протягом вегетаційного періоду 2020–2021 рр. в м. Умань Черкаської області. Ґрунтово-кліматичні умови м. Умань є типовими для південної частини Черкаської області, які характеризуються помірно-континентальним кліматом з нестійким зволоженням.

Останнє десятиріччя стало найбільш спекотним у світі за весь період інструментальних спостережень за погодою. В Україні зафіксовані довготривалі теплові хвилі, аномальні посухи, зросла кількість стихійних метеорологічних явищ, спостерігаються зміни в тривалості сезонів [11]. Аналізуючи дані метеорологічних спостережень Уманської метеорологічної станції за роки проведення досліджень, можна зробити висновок, що середньорічна температура повітря з кожним роком поступово підвищується і її показник перевищує середні багаторічні показники на 2,6 °С.

Основним чинником забруднення атмосферного повітря міста є пил, при масових викидах якого в навколишнє середовище спостерігається несприятлива екологічна ситуація. Одним із визначальних джерел пилоутворення є автотранспорт. Наявність мережі

міського транспорту та добре розвинутої транспортної інфраструктури робить місто значно вразливішим до проявів кліматичної зміни порівняно з іншими територіями [12].

Загалом, вулиці м. Умань, де проходить найбільша кількість автотранспорту, характеризуються багатоповерховою забудовою. Переважно усі автошляхи двостороннього руху, а зелені насадження присутні майже на усіх вулицях. Липа серцелиста – одна із основних культур даних міських фітоценозів.

Для визначення локації із найбільш запиленним повітрям ми провели аналіз завантаженості вулиць автотранспортом. Для цього було обрано такі основні вулиці з найбільшою інтенсивністю руху: вул. Європейська, вул. Незалежності, вул. Київська, вул. Максима Залізняка, вул. Заводська, вул. Теплична, вул. С. Бандери, вул. Шевченка, вул. Успенська, вул. Садова. Відповідно до підрахунків, найбільша кількість автомобілів спостерігалась на вул. Європейська, Незалежності та Київська (рис. 1).

Переважаючим видом транспорту в місті є легкові автомобілі, кількість вантажівок на центральних вулицях досить мала. У центральних районах рух автотранспорту через велику кількість автомобілів сповільнений і це спричиняє значні викиди в атмосферу шкідливих речовин. Відповідно найбільша запиленість вулиць спостерігається на локаціях біля світлофорів та біля доріг низької якості. Відповідно до даних спостережень можна виділити три основні категорії вулиць із пиловим навантаженням атмосферного повітря у місті. Так вулиці із дуже високим забрудненням це вул. Незалежності, Європейська та Київська. Вулиці високого забруднення: Шевченка, Заводська, Теплична, та вулиці помірного забруднення – вул. Успенська, Садова та М. Залізняка.

Отже, для екологічної оцінки адаптації рослин липи серцелистої до умов техногенного середовища міста Умань нами було використано дерева, які зростають на вулиці Незалежності. За контроль було взято дерева, які ростуть в умовно чистій зоні, на території НДП «Софіївка» НАН України.

За умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів (частину викидів поглинають, а до 85 % пилу затримують) [13]. Тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені були розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля, зокрема від пилу (рис. 2).

У зоні дії атмосферного забруднення відбувається загальне потовщення листової пластини липи серцелистої за рахунок збільшення довжини клітин, при цьому зменшується їх ширина (табл. 1).

Таблиця 1

Товщина листової пластини липи серцелистої в різних умовах середовища, мкм (середнє за роки досліджень)

Показники	Листки з умовно чистої зони (територія НДП «Софіївка» НАНУ)	Листки з зони дії атмосферного забруднення
Товщина стовпчастої паренхіми	96,1±0,54	101,7±0,87
Товщина губчастої паренхіми	85,4±0,42	99,4±0,94
Товщина епідермісу	32,0±0,25	40,7±0,51
Товщина листової пластинки	210,2±0,65	214,6±0,74

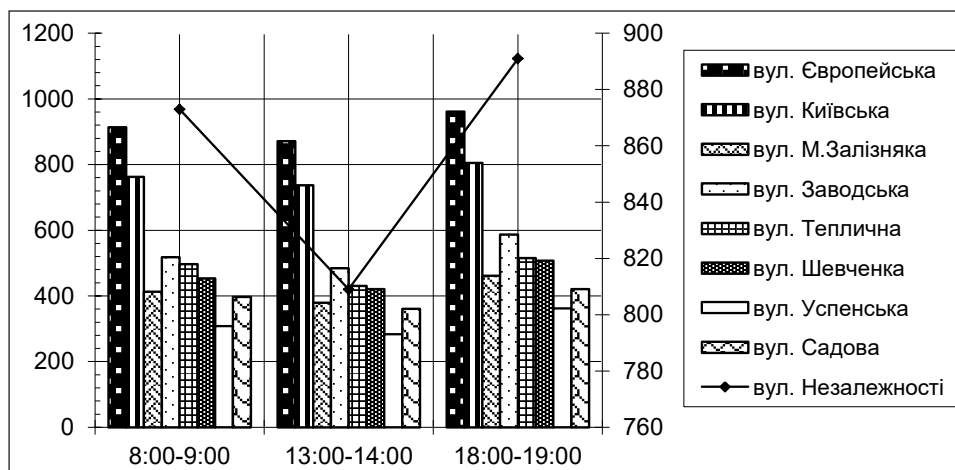
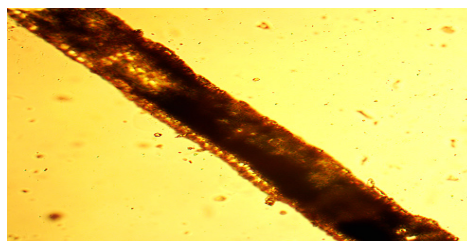
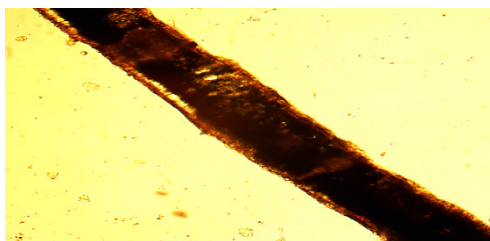


Рис. 1. Завантаженість вулиць м. Умань автотранспортом



А

Б

Рис. 2. Зрізи листової пластинки липи серцелистої (А – умовно чисте середовище, Б – забруднене середовище)

Стійкість рослин липи серцелистої до дії забруднення може бути також пояснена посиленням ксероморфності структури листової пластинки, індекс якої вказує на збільшення кількості епідермальних клітин. Доведено, що на продиховий апарат рослин насамперед вплинули викиди автотранспорту. А, як відомо, через продиховий апарат здійснюється газообмін, транспірація та відбувається надходження токсичних речовин [14]. Тому, в умовах постійного впливу на рослини забруднювачів, які містяться в атмосферному повітрі, зменшується довжина та ширина замикаючих клітин продихів і збільшується їх щільність на 1 мм² поверхні епідермісу, що ще раз доводить, що рослини набувають ознак ксероморфності. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватись до потепління клімату.

Головні висновки. Отже, за результатами досліджень, що проводились на території м. Умань, можна зробити висновок, що в умовах збільшення за останні роки середньорічної температури повітря в середньому на 2,6 °С відбувається також і інтенсивне запилення атмосферного повітря внаслідок роботи автотранспорту. Для визначення локації із найбільш запиленим повітрям ми провели аналіз завантаженості вулиць автотранспортом і визначили, що найбільша запиленість вулиць спостерігається на локаціях біля світлофорів та біля доріг низької якості.

Дослідженнями було доведено, що за умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів і тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму. Автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватись до потепління клімату.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень, викладені в даній статті, дозволяють рекомендувати липу серцелисту як основну культуру для озеленення комунаційно-стрічкових фітоценозів міст з метою підтримки екологічної рівноваги в урбоєкосистемі, підвищення екологічної якості життя міського населення на фоні зростаючої проблеми зміни клімату. Крім того, що зміни параметрів структури листка липи серцелистої можна використовувати як тест-показник для індикації забруднення довкілля.

Література

1. United Nations Population Fund. State of the world population 2007: unleashing the potential for urban growth. *United Nations Population Fund, New York*. URL: http://www.unfpa.org/swp/2007/presskit/pdf/sowp2007_eng.pdf
2. Пирожков С. І., Лібанова Е. М., Власенко Н. С. Комплексне демографічне дослідження в Україні / за ред. чл.-кор. НАНУ, д. е. н., проф. Е. М. Лібанової. Український центр соціальних реформ, 2006. 188 с.
3. Joss S. Eco-cities – a global survey 2009. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. 2010. № 129. P. 239–250.
4. Vainio Eeva, Velmala Sannakajsa, Salo Pertti, Huhtinen Seppo, Müller Michael. Defoliation of *Tilia cordata* trees associated with *Ariognomonia errabunda* infection in Finland. *Silva Fennica*. 2017. 51. DOI: 10.14214/sf.7749
5. Коленкіна М. Стан липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) у зелених насадженнях міста Харків (за даними весняного обстеження). *Науковий бюлетень УНФУ*. 2020. № 30. С. 25–30. DOI: 10.36930/40300504
6. Vainio Eeva, Velmala Sannakajsa, Salo Pertti, Huhtinen Seppo, Müller Michael. Defoliation of *Tilia cordata* trees associated with *Ariognomonia errabunda* infection in Finland. *Silva Fennica*. 2017. 51. DOI: 10.14214/sf.7749
7. Khavanizadeh A., Veroustraete Frank, Buytaert Jan, Samson Roeland. Leaf injury symptoms of *Tilia* sp. as an indicator of urban habitat quality. *Ecological Indicators*. 2014. Vol. 41. P. 58–64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.01.014
8. Родінкова В. В., Кременська Л. В., Криклива С. Д., Бобровська О. А., Щерба І. К. Аспекти доцільності насадження видів роду *Tilia* L. в урбанозоні м. Вінниці. *Український журнал медицини, біології та спорту*, 2020. Том 5, № 2 (24). С. 192–197.
9. Совакова М. О., Сидоренко І. О. Досвід використання представників роду *Tilia* T. на ландшафтних об'єктах різних країн світу. *Наукові доповіді НУБіП*. 2012-6 (35). С. 10–19.
10. Олексійко Н., Ліханов А. Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia* L. в урбосередовищі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. 45. С. 23–30. DOI: 10.15421/411602

11. Вразливість до зміни клімату та кліматичні цілі Запоріжжя і області. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/02/zaporizhia-klimatychna-dk-s.pdf>
12. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. URL: https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf
13. Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heyser, Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. 85. P. 251–255. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0047-4>
14. Пономарьова О. А. Зміни анатомічної будови листків дерев роду *Tilia* L. як показник адаптації до різних умов зростання. *Питання біоіндикації та біології*. 2013. 18 (2). С. 105–120.