

ЕКОЛОГІЯ

УДК 581.5(582.623;631.961):(629.331:504.73.05)

**МОРФОЛОГІЧНА РЕАКЦІЯ ЛИСТКІВ ТОПОЛІ В РІЗНИХ
УМОВАХ УРБОТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Д. Ганжа

ДСП “ЦППРВ”

вул. Кірова, 52, Чорнобиль 07270, Україна

e-mail: dmган@rambler.ru

Досліджено морфологічну реакцію листків тополі пірамідальної на якість довкілля в умовах урбоекосистеми. Порівняно значення морфометричних показників із деякими параметрами довкілля, що характеризують техногенне навантаження. Запропоновано нові способи морфометричної оцінки реакції листків рослин на стан довкілля. Показано, що різні морфометричні коефіцієнти листків рослин неоднаково проявляються у різних урбоекологічних умовах.

Ключові слова: автотранспорт, забруднення довкілля, забудова, морфологія листка, урбоекосистема.

Більшість території України перебуває у стані техногенного навантаження. Вплив хімічних і фізичних забруднень на живі організми значною мірою залежить від інших факторів довкілля. За таких умов важливо не тільки проводити пошук екстремальних забруднень, але також досліджувати місцеві екологічні умови, на фоні яких відбувається забруднення, тобто здійснювати оцінку якості довкілля окремо у кожному екосистемному виділі на досліджуваній території. Чи не найважливішим об'єктом біоіндикації довкілля є рослини. Серед критеріїв, яким мають відповідати параметри рослин, що досліджуються при проведенні оцінки якості довкілля, на першому місці – інформативність і доступність у вивченні. Реакція рослин, зокрема за їх морфометричними параметрами, – інтегральний показник якості довкілля, що дає можливість оцінити стан екосистеми у поєднанні природних і техногенних факторів при незначних затратах. Для оцінки якості довкілля досліджують морфологічну реакцію листків рослин, зокрема в урбанізованому середовищі – тих, що застосовуються при озелененні. Для оцінки морфологічної реакції рослин на стан довкілля застосовують різні морфометричні параметри їх листків, серед яких найбільш розповсюдженими є оцінка флуктуючої асиметрії та форми листків [1, 5, 6].

Метою цього дослідження є аналіз деяких способів вимірювань морфометричних параметрів листків тополі пірамідальної щодо придатності запропонованих способів для оцінки якості довкілля та вивчення морфологічної реакції листків тополі у різних урбоекологічних умовах.

Матеріали та методи

Спостереження проведено протягом 2010–2011 рр. на 27 пікетах, розташованих в урбоекосистемі Мелітополя – промислового міста із населенням 158,45 тис. осіб, при оцінній щільності населення – 3370 осіб/км². На пікетах відбирали листки тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* Wokh.), не менше 50 листків із 5 й більше дерев. Ідентифікацію видів проводили за формою крони та листків, з урахуванням того, що для міського озеленення могли бути використані гібриди тополі пірамідальної, при обробці зібраної колекції проведено статистичний аналіз приналежності окремих листків за морфометричними

ми параметрами до генеральної сукупності, з якої взято вибірку. Те саме було пророблено для усереднених значень вибірок з окремих дерев і окремих пікетів. Зібрані листки сканували, растрові зображення реєстрували у додатку **MapInfo Professional** від **MapInfo Corporation** (Тroy, New York). У середовищі MapInfo проводили подальшу обробку сканованих матеріалів та вимірювання морфологічних параметрів листків.

Результати морфометричних вимірювань порівнювали з екологічно значущими параметрами урбоекосистеми – загороженістю приземного шару повітря, будівельним навантаженням, інтенсивністю потоків автотранспорту (qAT , авт.·год.⁻¹), сумарним показником забруднення хімічними елементами верхнього шару ґрунту. Останнє обчислено за результатами раніше проведених спостережень [2].

Загороженість атмосферного повітря у місцях спостережень оцінювали за результатами фотометрії каламутності водних змивів пилу з поверхні листків дерев. Аналіз проводили у день відбору проб із використанням приладу контролю якості води U-10 (HoriBa). За результатами вимірювань, представленими у нефелометричних одиницях каламутності (NTU), обчислювали значення показника загороженості повітря [3]:

$$P_{\text{милу}} = (NTU_1 - NTU_{\text{витажки}}) \cdot S^l, \quad (1)$$

де NTU_1 – значення каламутності змиву з листків; $NTU_{\text{витажки}}$ – каламутність розчину за рахунок пошкодження листків (каламутність водної 30-хвилинної витяжки із промитих листків); S – площа поверхні листків, см².

Будівельне навантаження урбоекосистеми оцінювали за ландшафтометричним показником забудови ($K_{\text{бвд}}$) за формулою [2]:

$$K_{\text{бвд}} = \frac{S_{\text{бвд}} \cdot H_{\text{бвд}} + S_{\text{дрз}}}{S_{\text{тер}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де: $S_{\text{бвд}}$ – площа під будинками на ключовій ділянці, м²; $S_{\text{дрз}}$ – площа під дорогами з твердим покриттям, м²; $H_{\text{бвд}}$ – усереднена на ділянці кількість поверхів умовної будівлі; $S_{\text{тер}}$ – площа ключової ділянки, м².

Сумарний показник забруднення (Z_c) обчислювали за формулою [4]:

$$Z_c = \sum_1^i \frac{C_i - C_{\phi}}{C_{\phi}}, \quad (3)$$

де: C_i – концентрація речовини на пікеті, C_{ϕ} – фонові концентрації речовини (у даному випадку обчислено для умов регіону [2]).

Значення коефіцієнта асиметрії [5] обчислювали як відношення морфологічних параметрів листків тополі, виміряних з лівого боку (L), до аналогічних – з правого боку (R):

$$K = (L - R) / (L + R), \quad (4)$$

Лабораторні вимірювання за даним дослідженням проведено із розширеною невизначеністю, котра не перевищувала 3%, а польові спостереження – 20%.

Результати і їхнє обговорення

Переважає більшість методів морфометричного аналізу листків дерев, як це видно із доступних літературних джерел, базується на вимірюванні лінійних параметрів листових пластинок. Вимірювання проводяться на живих листках [1, 5, 6]. Згаданий підхід, поряд із перевагами, наприклад, багатопараметричністю морфологічної оцінки [5] та відносною простотою вимірювань, має певні недоліки – складність у застосуванні до листків із нерегулярним жилкуванням, або зі суттєвими флуктуаціями форми, значні похибки при вимірюваннях тощо. Для часткового подолання названих недоліків нами запропоновано

проводити морфометричні вимірювання листків рослин на сканованому матеріалі за параметрами площі листової пластинки або її частин. За принципом мінімаксу, оптимальною формою при поглинанні сонячної енергії є круг, що вказує на доцільність порівняння площі поверхні листової пластинки із площею круга. Відповідно, коефіцієнт площі листової пластинки (K_{SL}) обчислювали як відношення її площі до площі круга:

$$K_{SL} = S_L \cdot S_A^{-1} \quad (5)$$

де S_L – виміряна площа листової пластинки, мм²; S_A – площа кола (мм²) із радіусом, що дорівнює півдовжині листової пластинки (мм) та центром, розташованим на півдовжині центральної жилки листка.

На рис. 1 надано приклади листових пластинок тополі пірамідальної із різними значеннями коефіцієнтів площі, що трапляються на досліджених пікетах. Аналіз отриманих даних показує, що запропонований коефіцієнт площі дає змогу також оцінити видовженість листових пластинок дерев. Видовженість листових пластинок зростає, як це видно з рис. 1, зі зменшенням значення K_{SL} , та навпаки.

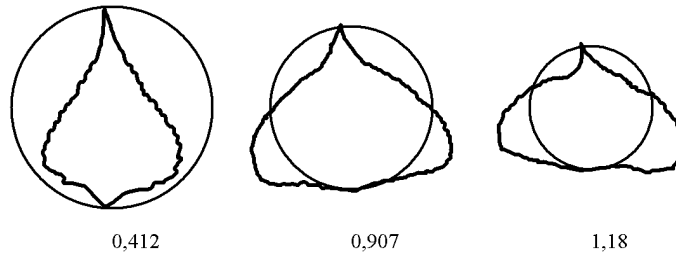


Рис. 1. Варіанти відносної площі листової пластинки тополі при різних значеннях K_{SL} (числами показано значення коефіцієнта).

При обчисленні коефіцієнта форми (K_{FL}) листової пластинки за ознакою площі їх частин розділяли листову пластинку поперечним перерізом на рівні півдовжини й обчислювали значення K_{FL} як відношення площі верхньої частини до нижньої:

$$K_{FL} = S_t \cdot S_b^{-1}, \quad (6)$$

де S_t – площа верхньої частини листової пластинки, мм²; S_b – площа нижньої частини, мм².

На рис. 2 подано приклади варіацій форми листової пластинки тополі пірамідальної, що трапляються на досліджених пікетах. З рисунка видно, що максимальна ширина листової пластинки значно коливається вздовж їхньої подовжньої осі. Така флуктуація форми ускладнює встановлення правила вимірювань лінійних заперечних параметрів при оцінці як форми, так і асиметрії листків, що призводить до значної похибки вимірювань. При вимірюваннях за ознакою площі названа проблема знімається, що збільшує достеменність результатів.

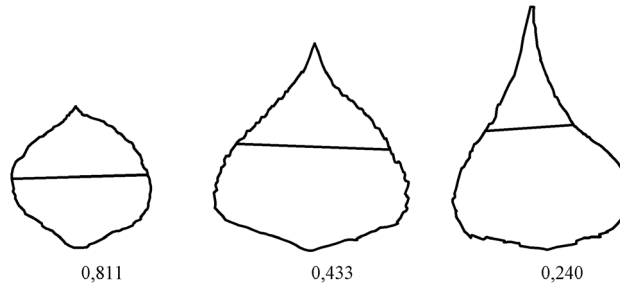


Рис. 2. Варіанти форми листової пластинки тополі при різних значеннях K_{FL} (числами показано значення коефіцієнта).

При обчисленні коефіцієнта асиметрії листків тополі пірамідальної застосовано вимірювання площі лівого та правого боків листкової пластинки. Поздовжній переріз листків здійснювали за контуром центральної жилки. Коефіцієнт асиметрії (K_{AL}) обчислювали за формулою 4. На рис. 3 подано приклади варіації асиметрії листкової пластинки тополі пірамідальної, відібрані на досліджуваних пікетах.

Значення морфометричних параметрів на пікетах обчислювали як середнє від усіх виміряних листків дерев. Як правило, на кожному пікеті траплялися листки дерев із ознаками значного відхилення від середнього за усіма обчисленими морфометричними коефіцієнтами. Між собою пікети відрізнялися за відносною кількістю таких відхилень. Для порівняння морфологічної реакції листків дерев на якість довкілля, крім урбоекосистеми Мелітополя, було закладено пікет у фонових умовах, у 10 км на північний схід від Мелітополя, у заплаві р. Молочна поблизу заповідника Кам'яна могила. Порівняння параметрів якості довкілля із фоновим пікетом показують, що спостереження в урбоекосистемі Мелітополя проведено на тлі слабкого та середньої сили техногенного забруднення (табл. 1).



Рис. 3. Варіанти асиметрії листків тополі при різних значеннях K_{AL} (числами показано значення коефіцієнта).

Таблиця 1

Значення параметрів довкілля та морфометричних параметрів листків тополі пірамідальної у місцях спостережень (за результатами вимірювань 1040 листків)

Параметр	Середнє значення	V, %	K_c
Коефіцієнт площі листків (K_{SL})	0,864	14	1,3
Коефіцієнт форми листків (K_{FL})	0,436	9	0,96
Коефіцієнт асиметрії (K_{AL})	0,0434	17	1,4
Показник запорошеності повітря ($\Pi_{пшв}$)	0,231	37	2,0
Інтенсивність потоків автотранспорту (авт. · год. ⁻¹)	403	30	–
Сумарний показник забруднення (Z_c)	11	38	1,2
Ландшафтметричний показник забудови ($K_{зд}$)	0,227	55	–

Примітка. V – коефіцієнт варіації; K_c – усереднене відхилення від фону, обчислене як C_i/C_ϕ , де C_i – значення параметра у Мелітополі, C_ϕ – значення фону.

Наведені у таблиці дані показують, що не за всіма застосованими морфометричними параметрами листків дерев спостерігається однакова реакція рослин на антропогенне навантаження. Значення відхилення морфометричних параметрів від фону коливається в межах від 4 до 40%. При цьому перевищення над фоном параметрів якості довкілля, як і значення їх коефіцієнтів варіації, є більш контрастним, порівняно із морфологічними параметрами, у 2–5 разів. Разом із тим, отримані результати показують, що незважаючи на “буферність” реакції рослин на антропогенне навантаження, прояв через морфометричні параметри листків є на-

явним. Важливо відзначити, що у даному випадку спостерігається реакція рослин в умовах не екстремального, а слабкого та середньої сили антропогенного забруднення.

Аналіз кореляційних зв'язків морфометричних параметрів листків тополі в урбо-екосистемі Мелітополя показує, що вони не однаковою мірою пов'язані між собою та із параметрами довкілля (табл. 2). Переважно наявні слабкі та середньої сили кореляційні зв'язки, які проявляються при заданому рівні значущості ($P=0,95$).

Таблиця 2

Фрагмент матриці результатів кореляційного аналізу зв'язків морфометричних параметрів листків тополі з параметрами урбоекосистеми

Параметр	K_{SL}	K_{FL}	K_{AL}	$\Pi_{\text{плу}}$	qAT	Z_c
K_{FL}	0	1				
K_{AL}	0,59	0,31	1			
$\Pi_{\text{плу}}$	0	0	0,40	1		
qAT	0,37	0,32	0	0	1	
Z_c	0,25	0	0	0,31	0	1
$K_{\text{б-УД}}$	0	0	0,45	0,45	0	0,49

Примітка. Наведено достовірні коефіцієнти кореляції, відсутність кореляційних зв'язків позначено як "0".

Між значеннями коефіцієнтів площі та форми листкових пластинок тополі у межах проведеного дослідження достеменних зв'язків не знайдено. Коефіцієнт форми листків тополі, на відміну від інших морфометричних коефіцієнтів, не тільки проявляє найменші відмінності від фонових значень (табл. 1), але й найслабше зв'язаний із параметрами довкілля – проявляє тільки слабку залежність від автотранспортного навантаження із коефіцієнтом кореляції 0,32. Коефіцієнт асиметрії утворює зв'язки як із коефіцієнтом площі, так і з коефіцієнтом форми. Значення K_{AL} найбільш тісно пов'язане із заповненістю приземного шару повітря та забудовою, при цьому не проявляє зв'язку із транспортним навантаженням та забрудненням ґрунту. З останніми двома параметрами довкілля корелює коефіцієнт площі листків тополі. Неодноразова морфологічна реакція листків тополі на різні параметри довкілля, що проявляється у різній силі або відсутності зв'язків між морфометричними коефіцієнтами та значеннями параметрів довкілля, свідчить про доцільність використання, при проведенні оцінки якості довкілля, більше одного параметра морфологічної реакції листків.

Для порівняння проведено обчислення морфологічної реакції листків тополі за лінійними параметрами [1, 6]. Коефіцієнт видовженості листкових пластинок обчислювали як відношення довжини до ширини листка, коефіцієнт форми – як відношення ширини перерізу листка між першим і другим від черешка кватрилями до ширини перерізу між третім і четвертим, коефіцієнт флюктуючої асиметрії – як співвідношення ширини лівого та правого боку листків у перерізах між кватрилями. На кватилі розділяли листову пластинку за її поздовжньою віссю. Кореляційний аналіз зв'язків морфометричних коефіцієнтів листя тополі, обчислених за лінійними параметрами, із параметрами антропогенного навантаження показав, що коефіцієнти форми та видовженості реагують на стан довкілля тільки в умовах найбільшого антропогенного навантаження. За умов слабкого та середньої сили антропогенного навантаження коефіцієнт асиметрії проявляє слабкий зв'язок зі значеннями $\Pi_{\text{плу}}$ та $K_{\text{бод}}$ із коефіцієнтами кореляції 0,26 та 0,42, відповідно.

Пікети, де проводили спостереження, розташовано в екосистемах селітебних, садово-паркових, транспортних, а також у тих, що перебувають під впливом промислових

урболандшафтів. Місця спостережень перебувають під різного рівня та якості техногенним навантаженням, проте без екстремальних значень, про що свідчать коефіцієнти варіації параметрів довкілля – від 30 до 55% (табл. 1). Схему просторового розташування екосистем і місць спостережень наведено на рис. 4. Літерними індексами на рисунку позначено типи екологічних виділів. Селітебні урбоекосистеми: “Н” – котеджевої забудови з присадибними ділянками; “НР” – те саме, розрідженої забудови; “НЩ” – щільної; “М” – 1–2 поверхової забудови без присадибних ділянок; “МЩ” – те саме, щільної забудови; “С” – 3–4-поверхової забудови; “СР” – те саме, розрідженої; “В” – 5–9-поверхової забудови; “ВЩ” – те саме, щільної. На схемі виділено екосистеми садово-паркових урболандшафтів (СПЛ), до яких віднесено лісопарки та міський парк. Найбільші емісії токсичних речовин та заповненість приземного шару повітря пов’язані з екосистемами транспортних і промислових ландшафтів (ПРЛ).



Рис. 4. Схема урбоекосистем Мелітополя (пояснення у тексті). Зірочками позначено місця відбору проб листків тополі.

Із наведених у табл. 3 даних видно, що найбільші відмінності від фонових значень і варіабельність показників морфологічної реакції листків тополі притаманні екосистемам, що перебувають під впливом промислових ландшафтів. За ознакою коефіцієнта форми листків, рослини, в умовах проведених досліджень, не виявили реакції на автотранспортне навантаження. Спостерігається відмінність між реакцією рослин на промислове та селітебне навантаження. Реакція тополі на якість довкілля за ознакою коефіцієнтів площі й асиметрії листків є подібною в умовах селітебних і транспортних екосистем, але більш виразна за ознакою асиметрії листків у зоні впливу промислових підприємств. Найбільшу варіабельність морфометричних коефіцієнтів спостережено у селітебних екосистемах.

Причиною цього є значна відмінність умов місць зростання на фоні різної сили будівельного і транспортного навантаження, які значно коливаються в урбоекосистемах різного типу забудови. Порівняння значень морфометричних параметрів листків тополі, відібраних у різних урбоекологічних умовах, показує, що реакція рослин на антропогенне навантаження відповідає уявленням про відмінності якості середовища в них.

Таблиця 3

Усереднені значення відхилення від фону морфометричних параметрів листків тополі пірамідальної у різних урбоекологічних умовах

Параметр	Екосистеми селітебних урболандшафтів (n=9)		Екосистеми промислових урболандшафтів (n=8)		Екосистеми транспортних урболандшафтів (n=7)	
	K_c , %	V, %	K_c , %	V, %	K_c , %	V, %
K_{SL}	22	16	34	17	32	7
K_{FL}	-5,2	8	-8,0	6	0	11
K_{AL}	28	20	48	13	30	16

Примітка. n – кількість спостережень; V – коефіцієнт варіації; K_c – усереднене значення відхилення від фону обчислене як $(C_i - C_\phi) / C_\phi \cdot 100$, де C_i – значення параметра у Мелітополі, C_ϕ – значення фону.

Запропоновані на прикладі тополі пірамідальної способи вимірювання й обчислення значень морфометричних коефіцієнтів, що базуються на обліку площі листків рослин і комп'ютерній обробці зображень, – більш чутливі до змін антропогенного навантаження довкілля, порівняно зі способами, що базуються на лінійних параметрах листків. Запропоновані способи дають змогу проводити вимірювання із більшою достовірністю результатів, оцінювати і порівнювати у різних урбоекологічних умовах морфологічну реакцію листків дерев на якість довкілля за ознакою їх відносної площі, конфігурації та видовженості (коефіцієнт площі), порушень форми та флуктуацій асиметрії (коефіцієнти форми й асиметрії).

Неоднакова у різних урбоекологічних умовах морфологічна реакція листків тополі пірамідальної свідчить про те, що недоцільно обмежуватись одним морфологічним параметром при проведенні оцінки якості довкілля.

Запропоновані способи оцінки морфологічної реакції рослин на якість довкілля дають змогу використовувати їх разом із параметрами антропогенного навантаження для диференціації урбоекосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреева М. В. Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов: автореф. дис. ... канд. с-х. наук: 06.03.03. СПб., 2007. 20 с.
2. Ганжа Д. Д. Індикаційно-діагностична оцінка поверхневого забруднення суходольних біогеоценозів (на прикладі Запорізької, Івано-Франківської областей та зони відчуження Чорнобильської АЕС): автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2009. 20 с.
3. Ганжа Д. Д. Оцінка накопичення атмосферного пилу листками дерев тополі в різних урбоекологічних умовах // Наук. записки Тернопіль. пед. ун-ту. Сер. біол. 2011. № 2. (47). С. 82–85.
4. Геохимия окружающей среды / под ред. Ю.Е. Саега, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.

5. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур / Утверждено Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. М., 2003. 25 с.
6. Отчет. По договору №23 от 25. 07.2002 г. на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ: «Внедрение нового метода раннего предупреждения в систему мониторинга зеленых насаждений» (заключительный). Руководитель проекта В.М. Захаров. М., 2003. 34 с.

Стаття: надійшла до редакції 27.03.12

доопрацьована 09.10.12

прийнята до друку 10.10.12

MORPHOLOGICAL RESPONSE OF POPLAR LEAVES IN A VARIETY CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC LOAD

D. Ganzha

SSE "CEMRW"

52, Kirov St., Chornobyl UA-07270, Ukraine

e-mail: dmган@rambler.ru

Probed morphological reaction of poplar leaves in the different quality environment of the urban ecosystem. The morphometry parameters values are compared with some parameters of the environment that describing anthropogenic load. New methods of leaves plants morphometry reaction assessment to environmental quality were adoption. It is shown that different morphometry parameters of leaves plants differently manifested in different urban ecological conditions.

Keywords: area reclamation, environmental pollution, plant morphology, motor transport, urban ecosystem.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ УРБОТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Д. Ганжа

ГСП "ЦПОРВ"

ул. Кирова, 52, Чернобыль 07270, Украина

e-mail: dmган@rambler.ru

Исследована морфологическая реакция листьев тополя пирамидального на качество окружающей среды в условиях урбоэкосистемы. Проведено сравнение значений морфометрических коэффициентов с некоторыми параметрами окружающей среды, которые характеризуют техногенные нагрузки. Предложены новые способы морфометрической оценки реакции листьев растений на состояние окружающей среды. Показано, что разные морфометрические показатели листьев растений неодинаково проявляются в различных урбоэкологических условиях.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение окружающей среды, застройка, морфология растений, урбоэкосистема.