
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 636.574: 582.32 502.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.18>

МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В ІНДИКАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Бессонова В.П., Чонгова А.С.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. С. Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро
a-chongova@ukr.net

У статті висвітлено результати дослідження морфометричних показників деревних рослин, що зростають в умовах техногенного забруднення та виявлено найбільш інформативні показники та індикаторні види. Під час дослідження було обстежено рослини, що зростали у вуличних насадженнях м. Дніпро з різним рівнем забруднення атмосферного повітря як автомобільними так і промисловими викидами: пр. Нігояна і вул. Панікахі. У ході дослідження здійснено аналіз рівня життєвості дерев рослин за рядом морфометричних показників: приріст річних пагонів, кількість листків на них, площу листків. Встановлено, що найчутливішим до техногенного забруднення виявився ріст пагонів у *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Sorbus aucuparia* L. Він пригнічується у рослин на обох дослідних ділянках з різним рівнем техногенного забруднення. Кількість листків на річному пагоні в умовах забруднення довкілля найсуттєвіше зменшується порівняно з контролем у *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L. в обох дослідних варіантах. Скорочення площі листків за дії техногенного забруднення найзначніша у *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L., *Acer platanoides* L. Виявлено, що види рослин, у яких морфометричні показники змінюються найбільше, можуть бути використані як індикатори забруднення довкілля в урбогенних умовах зростання. Зазначено, що інтегральний показник флуктуючої асиметрії листків *Acer pseudoplatanus* L. і *Tilia cordata* Mill. вказує на більші зміни на просп. Нігояна де індекс забруднення значно вищий ніж на вул. Панікахі. Це свідчить про можливість використання цих видів рослин для біоіндикації стану довкілля з застосуванням відповідної шкали В.М. Захарова та ін. **Ключові слова:** вуличні насадження, техногенне забруднення, морфометричні показники, індикаторні види, флуктуюча асиметрія листків.

Morphometric indicators of woody plants used for indicating of environmental pollution. Bessonova V., Chonhova A.

The article highlights the results of the study of morphometric indicators of woody plants growing in conditions of man-made pollution, and the most informative indicators and indicator species are identified. During the research, the plants growing in the street plantings of the city of Dnipro with different levels of atmospheric air pollution from both automobile and industrial emissions were examined: Nigoyan Ave. and Panikakhi Str. In the course of the study, an analysis of the level of vitality of trees and plants was carried out according to a number of morphometric indicators: the growth of annual shoots, the number of leaves on them, the area of the leaves. It was established that the growth of shoots in *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Sorbus aucuparia* L. was the most sensitive to technogenic pollution. It is suppressed in plants at both experimental sites with different levels of man-made pollution. The number of leaves on an annual shoot in conditions of environmental pollution decreases most significantly compared to the control in *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L. in both experimental variants. Reduction of leaf area under the effects of technogenic pollution is most significant in *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Catalpa bignonioides* Walter, *Betula pendula* Roth, *Salix alba* L., *Acer platanoides* L. It was found that the species of plants in which the morphometric indicators change the most can be used as indicators of environmental pollution in urbogenic growth conditions. It is noted that the integral index of the fluctuating asymmetry of the leaves of *Acer pseudoplatanus* L. and *Tilia cordata* Mill. indicates greater changes on the Nigoyan Ave., where the pollution index is much higher than on the Panikakhi Str. This indicates the possibility of using these types of plants for bioindication of the state of the environment using the appropriate scale of V.M. Zakharova and others. **Key words:** street plantings, man-made pollution, morphometric indicators, indicator species, fluctuating leaf asymmetry.

Постановка проблеми і актуальність дослідження. Урбанізація призводить до зниження якості оточуючого середовища, його екологічної деградації. Зелені насадження, і навіть поодинокі посадки дерев, мають значні можливості покращувати санітарно-гігієнічні показники [1–3] і надавати оточуючому середовищу більш комфортні умови життя [4–7].

Важливу роль у виконанні цих функцій відіграють вуличні насадження міст. Проте техногенне забруднення атмосферного повітря, порушення властивостей ґрунту внаслідок накопичення в них важких металів й інших токсичних речовин, а також протижелезних реагентів, що використовуються в зимовий період, створюють несприятливі умови для їх росту і розвитку [8–11].

Слід зазначити, що в містах південного сходу України у періоди з циклонічною погодою і температурною інверсією в пригрунтовому шарі повітря підвищується маса промислових і автотранспортних забруднювачів, виникає так званий «український тип смогу» [12]. Часті повітряні і ґрунтові посухи посилюють його несприятливий вплив на рослини придорожніх насаджень. Тому дослідження показників їх життєвого стану необхідні для кращого розуміння властивостей використання тих чи інших видів рослин в озелененні вулиць з різним рівнем забруднення.

Аналіз основних джерел і публікацій. У ряді робіт розглядається загальний життєвий стан деревних рослин у вуличних насаджень [13–16]. У цих дослідженнях надана оцінка життєвого стану рослин та охарактеризовані патологічні зміни на підставі візуальних спостережень. Проте, для порівняння життєвості рослин в різних умовах забруднення більш точним вважається морфологічні показники [8; 11; 17–20]. Рівень змін біометричних параметрів вегетативних органів за дії забруднювачів і величини встановлених відхилень від контрольних значень характеризують ступінь життєздатності рослинного організму [21]. Крім того, ці показники можна використати в якості біоіндикаторів стану міського середовища [22–25]. Слід зазначити, що в різних кліматичних зонах чутливість рослин до промислових та автомобільних поллютантів буде відрізнятися. Отже, виявлення за морфометричними показниками найбільш сприйнятливих видів деревних рослин до техногенного забруднення у східно-степовому регіоні України є важливим.

Мета даної роботи – виявити найбільш інформативні види деревних рослин для фітоіндикації забруднення довкілля за змінами їх морфометричних показників.

Новизна роботи полягає в аналізі реакції великої кількості видів деревних рослин (22) на техногенне забруднення за рядом морфометричних показників, визначенні найбільш чутливих з них і встановленні індикаторних об'єктів. Отриманий список найбільш стійких рослин у вуличних насадженнях промислового міста може бути використаним в озелененні міст східно-степової лісотипологічної області України.

Матеріали та методи. Дослідні рослини зростали у вуличних насадженнях проспекту Нігояна і вулиці Панікахі. Просп. Нігояна знаходиться у зоні міста, де зосереджені підприємства Західної промислової групи. Це ТОВ «Ливарно-механічний завод», АТ «Дніпроважмаш», ТОВ «Дніпровський трубний завод», ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» та ін. В оточуюче середовище вони викидають аерозолі важких металів, SO₂, H₂S, CS₂, NO_x, фенольні сполуки та ін. На вулиці достатньо інтенсивний рух автотранспорту – 48000 авт./добу.

Вулиця Панікахі розташована в південній частині міста на житловому масиві Тополя. У даному районі діючих промислових підприємств немає.

Інтенсивність автомобільного руху становить 21270 авт./добу.

Діагностику рівня життєвості дерев рослин здійснювали, використовуючи морфометричні показники [21]. Вивчали приріст річних пагонів, кількість листків на них, площу листків.

Для дослідження обирали дерева однієї вікової групи. Вимірювали довжину однорічних пагонів і відбирали проби листків з південно-східного боку крони з 5-ти модельних дерев на висоті 2–2,5 м від ґрунту за однакових умов освітлення. На кожному дереві вимірювали 20 пагонів. Для визначення площі листків використовували другий і третій листки від основи однорічного пагона (всього 100 листків). Площу листків визначали ваговим методом. Для розрахунку показника флуктуючої асиметрії використовували листки липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) та клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) за методикою описаною Н. Г. Кряжевою та ін. (1996) [26]. Відбір проб здійснювали за прописом [27]. Результати статистично опрацьовані.

Виклад основного матеріалу. Такий екологічний чинник, як забруднення довкілля повітряними поллютантами, впливає на ростові процеси пагонів дерев (табл. 1). На просп. Нігояна, що розташований поблизу західної промислової зони, однорічні пагони деревних рослин *Acer negundo*, *Acer pseudoplatanus*, *Populus pyramidalis*, *Populus nigra*, *Salix alba*, *T. cordata* коротші стосовно контрольних рослин в межах близько 20 %. Найсуттєвіше гальмування росту пагонів (більше ніж на 30 %) встановлено у *T. cordata*, *Aesculus hippocastanum*, *Catalpa bignonioides*, *Betula pendula*, *Acer platanoides*, *Sorbus aucuparia*. У цих же видів дерев спостерігається пригнічення росту пагонів і в умовах меншого забруднення (вул. Панікахі), але не так значно.

У ряду видів рослин на вул. Панікахі довжина однорічних пагонів статистично не відрізняється від контрольних показників, але у дерев на просп. Нігояна вони були коротші ніж у відносно чистій зоні (*A. negundo*, *Picea pungens*, *P. nigra*). У деяких видів дерев на досліджуваних вулицях, незважаючи на значну різницю в рівні забруднення атмосферного повітря, ступінь пригнічення росту пагонів була практично однаковою (*A. pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *P. nigra*, *Populus simonii*, *S. aucuparia*, *T. cordata*, *Ulmus scabra*, *Populus pyramidalis*).

У таких рослин як *A. altissima*, *M. alba*, *R. pseudoacacia*, *U. parvifolia*, *U. pumila* різниця у прирості пагонів у всіх варіантах недостовірна, тобто у вуличних насадженнях гальмування їх росту не відбувається.

Більшість дослідників вказують на пригнічення ростових процесів у рослин вуличних насаджень [17; 28; 29]. Проте у деяких роботах відмічається відсутність негативного впливу поллютантів і навіть стимулювальну їх дію на ріст пагонів деяких видів рослин [12; 30; 31]. Слід зазначити, що нами

Таблиця 1

Вплив урботехногенних умов зростання на довжину пагонів деревних рослин, см

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	17,18 ± 0,71	16,77 ± 0,52	97,62	13,35 ± 0,54*	77,70
<i>Acer platanoides</i> L.	14,11 ± 0,80	11,05 ± 0,60*	78,30	9,80 ± 0,71*	69,45
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	13,48 ± 0,42	11,47 ± 0,72*	85,10	10,59 ± 0,66*	78,55
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	18,21 ± 1,08	15,33 ± 0,71*	89,18	12,28 ± 0,51*	67,43
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	35,14 ± 1,15	36,18 ± 0,81	102,95	33,61 ± 1,33	95,67
<i>Betula pendula</i> Roth	15,56 ± 0,75	13,10 ± 0,21*	77,76	9,96 ± 1,15*	64,01
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	20,47 ± 1,30	16,67 ± 0,65*	78,65	14,15 ± 0,70*	69,12
<i>Juglans regia</i> L.	19,31 ± 1,21	17,45 ± 1,14*	90,37	15,15 ± 1,02*	83,64
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	17,25 ± 0,62	14,51 ± 0,76*	84,12	15,40 ± 0,61*	89,32
<i>Morus alba</i> L.	30,40 ± 3,27	29,09 ± 0,78	95,70	27,19 ± 1,06*	89,44
<i>Picea pungens</i> Engelm.	12,78 ± 1,24	10,24 ± 0,72*	80,12	8,98 ± 0,67*	70,26
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	23,92 ± 1,14	20,60 ± 1,26*	86,13	18,69 ± 1,27*	78,13
<i>Populus nigra</i> L.	24,34 ± 1,92	21,76 ± 1,03*	86,29	19,28 ± 0,90*	79,11
<i>Populus simonii</i> Carriere	20,40 ± 1,12	17,48 ± 0,71*	85,68	16,18 ± 1,03*	79,31
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	13,96 ± 1,31	13,70 ± 1,18	98,55	14,70 ± 0,89	105,30
<i>Salix alba</i> L.	28,46 ± 1,02	24,29 ± 0,66*	86,25	22,86 ± 0,80*	78,22
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	16,52 ± 1,14	12,55 ± 1,06*	75,95	11,52 ± 1,20*	69,71
<i>Tilia cordata</i> Mill.	14,83 ± 0,84	11,72 ± 0,67*	72,38	9,64 ± 0,64*	65,03
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	16,99 ± 0,77	13,97 ± 0,83*	82,32	12,70 ± 1,05*	74,74
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	18,79 ± 0,54	16,26 ± 0,42*	80,54	15,67 ± 0,51*	83,29
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	12,30 ± 0,82	12,56 ± 0,79	102,11	11,74 ± 1,02	95,44
<i>Ulmus pumila</i> L.	14,26 ± 0,96	13,42 ± 0,91*	93,38	14,70 ± 0,95	102,32

Примітка: * різниця між контрольним і дослідним варіантами статистично достовірно при 0,05.

не виявлено статистично достовірного збільшення приросту пагонів у рослин вуличних насаджень порівняно з контролем.

Дещо в меншій мірі, ніж на приріст пагонів, урбогенні умови впливають на кількість листків на них (табл. 2). В умовах нижчого забруднення довкілля (вул. Панікахі) у багатьох видів рослин різниця в кількості листків порівняно з контрольним

варіантом статистичного недостовірна. У деяких видів дерев цей показник зменшується на величину від 11,86% у *F. excelsior*, до 16,80% у *S. alba*.

При більш суттєвому хронічному аерогенному забрудненні атмосферного повітря як автомобільними так і промисловими викидами (просп. Нігояна) у ряду видів дерев закладання листків інгібується сильніше. Пригнічення формування листків найзнач-

Таблиця 2

Вплив урботехногенних умов зростання на кількість листків на однорічному пагоні деревних рослин, шт.

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	8,90 ± 0,28	8,75 ± 0,31	98,31	8,49 ± 0,27	95,39
<i>Acer platanoides</i> L.	6,91 ± 0,23	6,23 ± 0,19*	90,29	4,86 ± 0,28*	70,33
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	6,32 ± 0,31	5,70 ± 0,25*	90,18	5,98 ± 0,18	94,62
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	8,35 ± 0,17	7,14 ± 0,15*	85,50	6,38 ± 0,27*	76,40
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	10,72 ± 0,42	10,80 ± 0,37	100,74	10,21 ± 0,33	95,24
<i>Betula pendula</i> Roth	10,84 ± 0,36	9,02 ± 0,21*	83,32	8,17 ± 0,22*	75,36
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	12,61 ± 0,51	11,03 ± 0,18*	87,74	9,35 ± 0,31*	74,14
<i>Juglans regia</i> L.	6,92 ± 0,31	5,81 ± 0,17*	78,39	5,15 ± 0,11*	74,44
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	7,32 ± 0,45	6,87 ± 0,47	93,59	6,47 ± 0,36*	88,14
<i>Morus alba</i> L.	12,20 ± 0,32	16,00 ± 0,54	105,26	14,64 ± 0,48	96,31
<i>Picea pungens</i> Engelm.					
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	11,24 ± 0,29	11,03 ± 0,51	98,13	10,27 ± 0,36*	91,37

Продовження таблиці 2

<i>Populus nigra</i> L.	13,52± 0,44	12,72± 0,51	94,08	11,38± 0,28*	84,17
<i>Populus simonii</i> Carriere	12,15± 0,89	10,99± 0,35*	90,45	10,58± 0,41*	87,10
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	8,61 ± 0,42	9,20 ± 0,51	106,85	8,45 ± 0,63	97,79
<i>Salix alba</i> L.	14,32± 0,50	11,84± 0,28*	83,20	10,27± 0,35*	72,17
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	10,72± 0,23	8,79± 0, 21*	78,19	7,43+ -0,30*	69,31
<i>Tilia cordata</i> Mill.	5,91 ± 0,30	5,01 ± 0,27*	87,81	4,00 ± 0,24*	67,68
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	6,27 ± 0,33	5,14 ± 0,19*	81,97	4,71 ± 0,28*	75,12
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	6,53 ± 0,54	5,84 ± 0,50*	89,10	5,55 ± 0,41*	84,99
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	8,12 ± 0,47	9,10 ± 0,61*	112,68	9,31 ± 0,48*	114,65
<i>Ulmus pumila</i> L.	7,35 ± 0,39	7,19 ± 0,45	97,82	6,92 ± 0,47	94,21

Примітка: * різниця між контрольним і дослідним варіантами статистично достовірно при 0,05.

ніше виражено у *T. cordata* (на 32,32%), *A. platanoides* (28,67%), *S. alba* (27,83%), *C. bignonioides* (25,86%), *B. pendula* (24,64%), *A. hippocastanum* (23,60%). Проте у значної кількості порід цей вплив несуттєвий. Характерно, що спостерігається співпадіння видів рослин з найсуттєвішим негативним впливом на гальмування росту пагонів і закладання листків, хоча механізм такого впливу, можливо, не однаковий.

У процесі росту і морфогенезу елементарного пагона можна виділити три етапи. На першому в периферичній зоні конуса наростання також відбувається утворення бугорків – листкових примордіїв, які зумовлюють розвиток майбутніх метамерів пагона. На другому етапі ці бугорки – примордії розвиваються в зачатки листків, на третьому – відбувається розростання цих зачатків. Перші два етапи

протікають у період скритого росту всередині бруньки, третій – в період видимого росту [32], який завершується припиненням росту міжвузлів і листків. Процеси, що відбуваються на кожному з етапів, відносно автономні, незалежно від тих, що здійснюються на інших етапах і регулюються різними фізіологічними механізмами [33]. Закладання листків регулюється генетично.

Отже, зменшення кількості листків на однорічному пагоні ряду деревних рослин вуличних насаджень пов'язане з впливом техногенного забруднення як на перший етап морфогенезу у бруньках – утворення листкових примордіїв, так і другий: інгібування розвитку примордіїв в зачатки листків.

Листковий апарат рослин має значну екологічну адаптованість морфометричних параметрів, що про-

Таблиця 3

Вплив урботехногенних умов зростання на площу листків деревних рослин, см²

Назва рослин	Контроль	Вул. Панікахі	% до контролю	Просп. Нігояна	% до контролю
<i>Acer negundo</i> L.	154,71 ± 6,31	141,76 ± 4,77*	91,63	134,38 ± 5,61*	86,85
<i>Acer platanoides</i> L.	135,21 ± 4,30	110,45 ± 3,21*	81,46	98,70 ± 2,12*	72,55
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	104,29 ± 4,12	95,93 ± 3,25*	91,98	86,29 ± 3,33*	83,24
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	327,11 ± 5,17	301,10 ± 4,27*	92,04	261,80 ± 3,46*	80,02
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	183,31 ± 5,10	175,70 ± 4,25*	90,54	155,83 ± 4,24*	85,00
<i>Betula pendula</i> Roth	17,50 ± 1,01	13,70 ± 0,70*	78,24	12,30 ± 0,77*	70,25
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	141,13 ± 4,30	110,29 ± 2,21*	78,15	102,25 ± 4,63*	72,47
<i>Juglans regia</i> L.	332,42 ± 6,42	307,51 ± 5,70	108,10	270,67 ± 5,18*	88,02
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	150,32 ± 3,34	133,25 ± 4,25*	88,65	120,42 ± 3,67*	80,11
<i>Morus alba</i> L.	43,68 ± 1,68	40,44 ± 1,54	92,28	36,40 ± 1,41*	83,33
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier)	30,71 ± 1,18	25,56 ± 1,14*	83,25	25,86 ± 2,27*	84,23
<i>Populus nigra</i> L.	25,40 ± 1,45	22,90 ± 1,84*	90,16	20,50 ± 1,15*	80,74
<i>Populus simonii</i> Carriere	14,92 ± 1,72	13,65 ± 1,84	93,62	12,72 ± 1,29*	85,31
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	66,70 ± 2,31	63,51 ± 2,14	95,27	60,03 ± 1,16*	90,00
<i>Salix alba</i> L.	16,78 ± 1,02	14,36 ± 0,83*	85,63	11,62 ± 0,90*	75,18
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	75,61 ± 2,50	60,17 ± 1,93*	79,58	53,59 ± 2,32*	70,89
<i>Tilia cordata</i> Mill.	30,27 ± 1,64	22,91 ± 1,71*	75,70	20,65 ± 1,87*	68,19
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	52,37 ± 2,03	43,09 ± 1,54*	84,19	39,82 ± 1,24*	76,03
<i>Ulmus scabra</i> Vill.	25,02 ± 1,12	19,10 ± 0,85*	76,34	20,05 ± 0,94*	80,13
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq	4,52 ± 0,32	4,40 ± 0,40	97,34	4,89 ± 0,38	108,18
<i>Ulmus pumila</i> L.	11,39 ± 0,45	12,41 ± 0,61	108,95	10,24 ± 0,83*	89,90

Таблиця 4

Значення інтегрального показника флуктуючої асиметрії листків *Acer pseudoplatanus* і *Tilia cordata*

Варіант	<i>Acer pseudoplatanus</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	показник	бал	показник	бал
Контроль	0,031	I	0,022	I
Вул. Панікахі	0,044	II	0,042	II
Просп. Нігояна	0,054	IV	0,051	IV

таблиця 5

Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною інтегрального показника стабільності розвитку (Захаров и др., 2000)

Величина показника стабільності розвитку	Характеристика стабільності розвитку	Бал
<0,040	Стабільність умовної реакції	I
0,041 – 0,044	Незначне відхилення від норми	II
0,045 – 0,049	Середній рівень відхилення від норми	III
0,050 – 0,054	Значне відхилення від норми	IV
>0,054	Критичний стан	V

являється в змінах його функціональної активності [34; 35]. Загальна листкова поверхня деревних рослин, що визначає їх санітарно-гігієнічну середовищездоровчу функцію тісно пов'язана з кількістю та площею листових пластинок. Тому дослідження впливу зміни цього показника у рослин у вуличних насадженнях становлять значний інтерес.

Як видно з табл. 3, в умовах меншого забруднення (вул. Панікахі) середня площа листків практично не змінюється у *A. pseudoplatanus*, *M. alba*, *U. pumila*, *A. negundo*, *P. nigra*, *P. simonii*, *R. pseudo-acacia*, *U. parvifolia*, *A. altissima*. Значно зменшується цей показник у *B. pendula*, *T. cordata*, *S. aucuparia*, *C. bignonioides*, *U. scabra* – більше ніж на 20% порівняно з контролем. На просп. Нігояна, де рівень забруднення більший, площа листових пластинок зменшується суттєвіше. Найчутливіший цей показник до дії поллютантів у таких рослин як *T. platyphyllos*, *T. cordata*, *C. bignonioides*, *B. pendula* та *S. alba*. Не виявлено статистично достовірних змін площі листків у *U. pumila*, *U. parvifolia*.

Отже, досліджувані види відрізняються за ступенем зміни площі листових пластинок порівняно з контролем в урботехногенних умовах. Ряд авторів вказує, що рослини, у яких спостерігається зменшення морфометричних показників листків можна розглядати як біоіндикатори якості оточуючого середовища [36–38].

Згідно отриманих нами результатів для фітоіндикації забруднення довкілля за зменшенням площі листків доцільно використовувати такі види деревних рослин – *B. pendula*, *S. aucuparia*, *C. bignonioides*, *A. platanoides*.

До методів фітоіндикації стану довкілля відносяться показник флуктуючої асиметрії листків [26; 39–41], яка за оптимальних умов зростання рослин є мінімальною, але за будь-якої стресової дії неспецифічно зростає. Даний метод дозволяє

оцінити сумарний вплив всього різноманіття негативних впливів на рослини. Флуктуюча асиметрія використовується для оцінки стабільності розвитку рослин [42–44]. Характерно, що навіть коли за іншими показниками стан дерева оцінюється як «здоровий», зміни значень флуктуючої асиметрії вже дають змогу фіксувати патологічний стан [45].

Як показали наші дослідження з використанням тест-рослин *A. pseudoplatanus* і *T. cordata*, інтегральний показник флуктуючої асиметрії дещо більший у листків першого виду (табл. 4).

Аналіз змін величини цього показника у дослідних варіантах свідчить про порушення стабільності розвитку, більше у рослин на просп. Нігояна у Західному промисловому регіоні.

Якщо порівняти отримані нами дані зі шкалою запропонованою В.М. Захаровим зі спів., 2000) [46], можна зробити висновок, що у рослин на вул. Панікахі спостерігається незначне відхилення від норми (оцінка II бали), а на просп. Нігояна – значне (IV бали). Це узгоджується з тим, що на просп. Нігояна склалися набагато гірші умови зростання рослин внаслідок техногенного забруднення. Отже, інтегральний показник флуктуючої асиметрії може застосовуватися із використанням таких тестових об'єктів як *A. pseudoplatanus* і *T. cordata* для встановлення рівня відхилення від норми, викликаного техногенним забрудненням довкілля.

Основні висновки. Види деревних рослин, у яких негативний вплив техногенного забруднення на морфометричні показники вегетативних органів проявляється найбільш значно, можуть бути використані як індикатори забруднення довкілля в урбогенних умовах зростання в степовій зоні України. За комплексом даних це такі рослини – *T. cordata*, *A. hippocastanum*, *C. bignonioides*, *B. pendula*, *A. platanoides*. В умовах суттєвішого забруднення техногенними поллютантами рівень змін цих показників

більший. Інтегральний показник флуктуючої асиметрії листків *A. pseudoplatanus* і *T. cordata* відображує значнішу ступінь порушення стабільності розвитку рослин на просп. Нігояна, де рівень, забруднення на багато вищий ніж на вул. Панікахі. Отримані дані свідчать про можливість використання листків цих

рослин для біоіндикації стану довкілля з застосуванням відповідної шкали. За рядом морфометричних показників у вуличних насадженнях з різним рівнем техногенного забруднення встановлені найбільш стійкі види дерев, які можуть бути рекомендовані для озеленення промислових міст степової зони України.

Література

1. Baumgardner D., Varela S., Escobedo F. J., Chacalo A., Ochoa C. The role of a peri-urban forest on air quality improvement in the Mexico City megalopolis. *Environmental Pollution*. 2012. 163. 174–183. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.12.016
2. Li Z., Chen D., Cai S., Che S. The ecological services of plant communities in parks for climate control and recreation-A case study in Shanghai, China. *Public library of Science One*, 2018. 13(4). e0196445. DOI: 10.1371/journal.pone.0196445
3. Jim C.Y., Chen W.Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008. 88(4). 665–676. DOI:10.1016/j.jenvman.2007.03.035
4. Stratu A., Costica N., Costica M. Wooden species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*. 2016. 10 (2). 173–184. DOI:10.1515/pesd-2016-0035
5. Nowak David J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. 29. 201–224. DOI:10.1016/j.ufug.2017.10.019
6. Salmond J.A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbuthnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K.N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. 2016. 15 (Suppl 1). 36. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6
7. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений *Вопросы защиты природной среды и охраны труда*. 1993. Дніпропетровськ: Видавництво ДГУ, 34–37.
8. Gostin I. Air pollution effects on the leaf structure of some fabaceae species. *Notulae botanicae horti agrobotanici cluj- napoca*. 2009. 37(2). DOI:10.15835/nbha3723078
9. Leghari S.K., Zaidi M.A. Effect of air pollution on the leaf morphology of common plant species of Quetta city. *Pakistan Journal of Botany*. 2013. 45. 447–454.
10. Krishnamurthy R., Babu Ramesh, Anbazhagan M., Banerjee G. and Bhagwat K.A. Physiological studies on the levels of some avenue trees, exposed to chronic low levels of air pollutants. *The Indian Forester*, 1986. 112. 503–511.
11. Sen A., Khan I., Kundu D., Das K., Datta J. K. Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality and identification of air pollution-tolerant species. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. 189(6). 262. DOI: 10.1007/s10661-017-5955-x
12. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев: Наукова думка, 1978. 247 с.
13. Разинкова А.К., Перельгина Е.Н. Видовое разнообразие и патологическое состояние уличных придорожных посадок. *Лесотехнический журнал*. 2016. 2. С. 36–46. DOI: 10.12737/19952
14. Токарь О.Е. Оценка жизненного состояния древесных растений в зеленых насаждениях города Ишима. *Самарский научный вестник*. 2020. Т. 9, № 3. С. 142–147. DOI: 10.17816/snv202093123.
15. Бедарева О.М., Бедарев В.С., Калинина Е.А., Мурачева Л.С., Троян Т.Н., Матюха А.В., Пашкова В.В. Устойчивость древесных насаждений в условиях транзитных зон города Калининграда *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2016. 40. С. 121–131.
16. Бессонова В.П., Иванченко О.С. Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 24. № 1. С. 36–56. DOI: 10.26661/2312-2056/2019-24/1-03
17. Луцишин, О.Г., Радченко, В.Г., Палапа, Н.В., Яворовський, П.П. Морфофізіологічна оцінка стану ростових процесів деревних рослин Київського мегаполісу за умов техногенного забруднення довкілля. *Доповіді Національної академії наук України*. 2010. № 7. С. 188–195.
18. Popek R., Przybysz A., Gawrońska H., Klamkowski K., Gawroński, S. W. Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. 163. 56–62. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.051
19. Rai P.K. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. 129. 120–136. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.03.012
20. Bessonova V.P., Chongova A.S., Sklyarenko A.V. Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities. *Biosystems Diversity*, 2020. 28(2). 203–208. DOI:10.15421/012026
21. Ерохина В.И., Жеребцова Г.П., Вольфтруб Т.И., Покалов О.Н., Шурова Г.В. Озеленение населенных мест. Справочник. Москва : Стройиздат, 1987. 480 с.
22. Bessonova V.P., Ivanchenko O.E. Free radical oxidation and proline content as indicators of urban tree vitality (the case of Dnipro city parks, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 2017. 7 (3). 146–153.
23. Иванченко О.С., Бессонова В.П. Індикація стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2016. 24(1). 109–118. DOI: 10.15421/011613
24. Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research*. 2014. 5 (2). 196–202. DOI: 10.5094/APR.2014.024
25. Kurteva M., Stamelieva L. *Acer pseudoplatanus* L. and *Betula pendula* Roth as bioindicators of urban pollution in Sofia. *Sitva Balcanica*. 2007. 8. 1. 32–46.

26. Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М.. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения. *Экология*. 1996. № 6. С. 441–444.
27. Фадеева М.Б. Шафигуллина Н.Р. Экология растений и методы фитоиндикации. Учебное пособие к теоретическим и практическим занятиям. Казань: Казанский федеральный университет. 2018. 150 с.
28. Виноградова, Е. Н. Морфометрический анализ годичного побега растений *Acer negundo* L., произрастающих в условиях техногенного загрязнения среды в Донбассе. *Самарский научный вестник*. 2016. 3 (16). С. 13–17.
29. Луцишин О.Г., Тесленко І.К., Белошапка Т.В., Ткаченко І.В. Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоєдафотопів (на прикладі м. Київ). *Доповіді Національної академії наук України*. 2013. № 5. С. 186–192.
30. Wood T., Bormann F.H. The effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. *Britt Environmental Pollution*. (1974). 7. 259.
31. Гришко В.М. Ріст деревних рослин в умовах техногенного забруднення. *Український ботанічний журнал*. 2002. 59, № 1. С. 79–89.
32. Михалевская, О. Б. Морфогенез побегов древесных растений: этапы морфогенеза и их регуляция. Москва. 2002. 66 с.
33. Михалевская О.Б. Ритмы роста на разных этапах морфогенеза побега у древесных растений. *Онтогенез*. 2008. т. 39. № 2. С. 85–93.
34. Bussotti C. C., Leonzio C. Borghini F. Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in Central Italy. *Trees-structure and Function*. 2000. 14(7):361–368 DOI:10.1007/s004680000056
35. Глібовицька Н.І. Фізико-хімічні параметри стану листків липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в урботехногенних умовах зростання. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія*. 2013. Вип. 18. № 1079. С. 180–185.
36. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. Москва: Мир, 1988. 348 с.
37. Braun M., Margitai Z., Leermakers A.T.B. Martine environmental monitoring using linden tree leaves as natural traps of atmospheric deposition: a pilot study in Transilvania, Romania. *AGD Landscape & Environment*. 2007. 1. 24–35.
38. Грицак Л., Барна І., Кодлюк І., Сельська І., Сплавінська Ю., Сука Р.Х., Барна С. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. *Конструктивна географія і геоекологія. Наукові записки*. 2017. №2. 153–165.
39. Глухов А.З., Штирц Ю.А., Демкович А.Є. Жуков С.П. Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере Донецка). *Промышленная ботаника*. Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. 2011. С. 90–96.
40. Складенко А.В. Оцінювання впливу промислових умов та величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula* Запоріжжя. *Науковий вісник НЛТУ України*. (2019). т. 29. № 6. С. 54–57. DOI:10.15421/40290611
41. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Видовий склад і таксаційні характеристики деревних рослин санітарнозахисної зони Придніпровського ремонтно-механічного заводу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. т. 31. № 2. С. 21–27. DOI: 10.36930/40310203
42. Sakai, K. Shimamoto, Y. Developmental instability in leaves and flowers of *Nicotiana tabacum*. *Genetics*. 1965. 51. 801–813.
43. Freemar D.C., Graham J.H., Emlen J.M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis developmental instability: its origins and evolutionary implications/ D.C. Freemar. Kluwer Academic Publishing. 1994. 99–121
44. Palmer A. Richard, Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual review of ecology and systematics*. 1986. 17. 391–421
45. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2018. Вип. 1(72). С. 82–89.
46. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. Здоровье среды: методы оценки. Оценка состояний природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников. Москва : Центр экологической политики. 2000. 66 с.