

УДК 504.5:574 (477.63)

Прищеп А. М., к.с.-г.н., професор, Борщевська І. М., к.с.-г.н., доцент, Буднік З. М., асистент, Брежицька О. А., к.с.-г.н., доцент, Курилюк О. М., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА РІВНОГО НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФЛУКТУЮЧОЇ АСИМЕТРІЇ

**Визначено рівень забруднення повітряного середовища м. Рівного біоіндикаційним методом. Проведено вимірювання основних морфологічних параметрів та визначено показники флуктуючої асиметрії листових пластин берези повислої (*Betula pendula*). Виявлено вплив забруднення атмосферного повітря на морфологічні ознаки і стан генеративних органів берези повислої (*B. pendula*). Оцінено стан повітряного середовища за величиною флуктуючої асиметрії листового апарата берези повислої (*B. pendula*).
Ключові слова: флуктуюча асиметрія, білатеральна симетрія, листові пластини, генеративні органи, морфологічні ознаки, ознака-маркер, забруднення атмосфери.**

Вступ. Проблеми екології міського середовища займають одне із перших місць серед глобальних проблем сучасності, оскільки дане середовище вирізняється своєрідністю екологічних факторів, специфічністю техногенних впливів, що призводять до значної трансформації навколишнього середовища. Повітря у місті заповнене пилом, сажею, аерозолями, димом, твердими частинками і т. ін. До основних джерел забруднення відносяться промислові і паливно-енергетичні підприємства, транспорт [1; 2]. Природно, що від забрудненого повітря урбоекосистеми страждає людина і все, що її оточує [3].

В сучасних умовах, пов'язаних з постійно зростаючими темпами антропогенного впливу на природні комплекси, для інтегральної оцінки стану навколишнього середовища широко використовується біоіндикаційний підхід, заснований на оцінці морфометричних параметрів [4; 5].

Біоіндикація є досить ефективною при оцінці екологічного стану території, оскільки живі системи дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і мають властивість реагувати раніше, ніж ці зміни стануть очевидними. Біоіндикація – метод оцінки абіотичних та біотичних факторів середовища існування за допомогою біологічних систем. У зв'язку з цим біологічні системи, життєві функції яких так тісно корелюють з певними факторами середовища, що можуть застосову-

ватись для їх оцінки, називаються біоіндикаторами.

Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих витрат і дає можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

Аналіз останніх досліджень. В останні роки якість середовища все частіше оцінюють за ступенем флуктуючої асиметрії білатерально-симетричних структур організмів, що його населяють [4; 5].

Вважають, що чим менш сприятливі умови навколишнього середовища, тим більше порушень вони викликають у процесі онтогенезу рослин і тим сильніше проявляються морфологічні відмінності між правою і лівою сторонами їх тіла [6]. Величина цих відмінностей, що називається показником флуктуючої асиметрії (ФА), слугує критерієм якості середовища існування людини, в тому числі території сучасних міст [9; 12; 13].

На даний час накопичено великий емпіричний матеріал, який показує, що ступінь флуктуючої асиметрії зростає у несприятливих умовах [4; 8].

У якості біоіндикатора використовують березу повислу (*Betula pendula*) – вид масовий і досить поширений, що входить до складу різноманітних біотопів [6; 10; 11].

При дослідженні рослинних організмів, за основу методу взято теорію про те, що відмінність лівої та правої половини листка корелюється зі ступенем загального порушення навколишнього середовища. Цей підхід досить простий з погляду збору, зберігання і обробки матеріалу. Він не вимагає спеціального складного обладнання, але при цьому дозволяє отримати інтегральну оцінку стану організму за усіх можливих впливів (включаючи антропогенні фактори). Для загальної характеристики ситуації краще використовувати найбільш типові фонові види.

Головною умовою використання об'єкта є білатеральна симетрія органа, параметри якого будуть використовуватись для дослідження. Для характеристики достатньо великих територій переважно використовується деревна рослинність.

Методика дослідження. В рамках даного дослідження для оцінки якості міського середовища використано показники стабільності розвитку берези повислої (*Betula pendula*) – дерево родини березових (*Betulaceae*) висотою 20-25 м, з ажурною кроною і зазвичай обвислими гілками. *B. Pendula* – європейсько-середньосибірсько-середземноморський вид. Мезофанерофіт, мезофіт. Основна лісоутворююча порода дрібнолистяних лісів. *B. Pendula* широко викорис-

товується в озелененні.

Для кількісного вираження ступеня асиметрії організму розроблена шкала відхилення від норми, що характеризує рівень забруднення території на основі показника флуктуючої асиметрії, де 1 бал – «умовна норма», а бал 5 – «критичний стан» (методика В.Н. Захарова та ін., 2000).

Рівень флуктуючої асиметрії оцінюється за допомогою інтегрального показника – величини середнього відносного розходження на ознаку (X):

$$Y = \frac{X_{\text{л}} - X_{\text{п}}}{X_{\text{л}} + X_{\text{п}}}; \quad (1)$$

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N}; \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum Z}{n} = \frac{Z_1 + Z_2 \dots + Z_n}{n}, \quad (3)$$

де Y – показник, розрахований для кожної ознаки як розходження між правим (П) та лівим (Л) боками, Z – відносна середня відмінність між ознаками для кожного листка, N – кількість ознак (5), X – інтегральний показник асиметрії, n – число листків.

Таким чином, співставивши отримані у ході розрахунків значення показників асиметрії зі шкалою відхилення від норми, ми зможемо оцінити стан навколишнього середовища досліджуваної території.

Постановка завдання. На сьогодні все більшої актуальності набуває проблематика якісної експрес-оцінки рівня забруднення компонентів довкілля. Метою роботи є визначення рівня забруднення повітряного середовища м. Рівне біоіндикаційним методом.

Об'єктом дослідження є забруднення повітряного середовища м. Рівного.

Предмет дослідження – мінливість морфологічних структур берези повислої (*B. pendula*) під впливом антропогенних чинників.

Результати досліджень. Збір матеріалу згідно з методикою був проведений після завершення інтенсивного росту листя (початок липня). Збір листя проводився з рослин, що знаходяться у відносно однакових екологічних умовах за рівнем освітлення, типу біотопа. Для аналізу використовували лише середньовікові рослини, уникаючи молодих екземплярів та старих.

Листя, приблизно однакового, середнього для даного виду розміру, брали з нижньої частини крони, на рівні піднятої руки, з максимальної кількості доступних гілок. При цьому, відбирали листя з гі-

лок різного напрямку, умовно – з півдня, півночі, заходу і сходу.

Для проведення аналізу ми використовували гербаризований матеріал у кількості 546 екземплярів. Листя було зібране у 16 точках спостереження міста Рівного. Ділянки відбору розташовані у місцях різного антропогенного навантаження за типом та інтенсивністю, у центрі та по периферії міста.

Вимірювання основних параметрів листового апарату проводили за п'ятьма морфометричними параметрами листкової пластинки (ознаками): ширина половинки листка (для вимірювання листок складають на дві половини по ширині, потім розгинають і по складці, що утворилася, проводять вимірювання); довжина 2-ої жилки II порядку від основи листка; 3 – відстань між основами 1-ої та 2-ої жилки II порядку; відстань між кінцями цих жилок; кут між головною жилкою і 2-ою від основи II порядку. Вимірювання проводили на гербаризованому матеріалі за допомогою штангенциркуля, лінійки та транспортира. Величина асиметричності оцінюється за допомогою інтегрального показника – величини середньої відносної похибки на ознаку. Подібні обрахунки проводимо для кожної ознаки. В результаті проведених досліджень та обрахунків отримуємо 5 значень Y для одного листка. Такі ж обрахунки проводять для кожного листка окремо. Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

Таблиця 1

Величина асиметрії листкової пластинки
Betula pendula (район залізничного вокзалу)

№	Ознака					Величина асиметрії листка (Z)
	Ширина половинки (Y_1)	Довжина 2-ї жилки (Y_2)	Відстань між основами 1-ї і 2-ї жилки (Y_3)	Відстань між кінцями 1-ї і 2-ї жилки (Y_4)	Кут між центральною і 2-ою жилками (Y_5)	
Район залізничного вокзалу						
1	0,097	0,008	0,077	0,059	0,097	0,068
2	0,077	0,079	0,091	0,189	0,014	0,090
3	0,014	0,019	0,091	0,000	0,015	0,028
4	0,024	0,046	0,048	0,179	0,000	0,060
5	0,032	0,012	0,091	0,091	0,000	0,045
6	0,257	0,015	0,111	0,158	0,061	0,120
7	0,026	0,107	0,143	0,100	0,111	0,097
8	0,200	0,000	0,048	0,158	0,014	0,084
9	0,106	0,039	0,091	0,040	0,026	0,061
10	0,077	0,000	0,000	0,125	0,114	0,063

Визначаємо середню відносну відмінність на одну ознаку для даної вибірки листя (для кожної точки відбору матеріалу) \bar{X} за формулою (3). Для першої точки відбору листя (район залізничного вок-

залу м. Рівне) $\bar{X} = 0,068$.

Цей показник характеризує ступінь асиметрії рослинного організму за 5-бальною шкалою, в якій 1 бал – умовна норма, а 5 балів – критичний стан.

Усі обрахунки і отримані результати подано у табл. 2.

Таблиця 2

Інтегральний показник (\bar{X}) флуктуючої асиметрії популяції
Betula pendula на території м. Рівне

Досліджувані райони	Середнє значення ФА за кожною ознакою					Середнє значення асиметрії	Бал
	1	2	3	4	5		
Район залізничного вокзалу	0,056	0,029	0,123	0,070	0,1	0,068	4
Район автовокзалу	0,051	0,030	0,096	0,075	0,056	0,062	3
Автостанція «Чайка»	0,061	0,028	0,113	0,060	0,069	0,066	4
Міська лікарня	0,062	0,022	0,129	0,061	0,058	0,066	4
Район ринку «Дикий»	0,048	0,022	0,116	0,052	0,056	0,059	2
Район біля ресторану «Істанбул»	0,055	0,034	0,101	0,081	0,080	0,070	4
Вул. О. Новака	0,083	0,026	0,120	0,061	0,033	0,065	4
Вул. М. Карнаухова	0,039	0,022	0,090	0,063	0,046	0,052	1
Парк ім. Т. Шевченка	0,077	0,021	0,157	0,093	0,086	0,087	5
Вул. С. Бандери	0,052	0,026	0,085	0,054	0,033	0,050	1
Вул. Басівкутська	0,043	0,024	0,129	0,094	0,035	0,065	3
Центр міста (школа № 2)	0,043	0,034	0,109	0,065	0,040	0,058	2
Район НВК № 12	0,037	0,030	0,089	0,076	0,045	0,055	2
Район Північний	0,059	0,026	0,084	0,084	0,057	0,062	3
Вул. Вербова	0,080	0,019	0,098	0,028	0,073	0,060	3
Вул. Мельника	0,022	0,019	0,110	0,051	0,167	0,074	5

Наведені у табл. 2 дані показують, що не за всіма застосованими морфометричними параметрами листків дерев спостерігається однакова реакція рослин на антропогенне навантаження. Серед 5-ти обраних морфометричних параметрів, ознака 3 (відстань між основами 1 і 2 жилки) володіє високим рівнем розходження між правим і лівим боками листової пластинки *B. pendula* у всіх досліджуваних районах.

Нами було проаналізовано середню величину асиметрії для

кожної ознаки по місту. Найвищу стабільність у розходженні між бочками листкової пластинки *B. pendula* демонструє ознака 2 (довжина 2 жилки II порядку від основи листка), що свідчить про її нечутливість до факторів навколишнього середовища (рисунок).

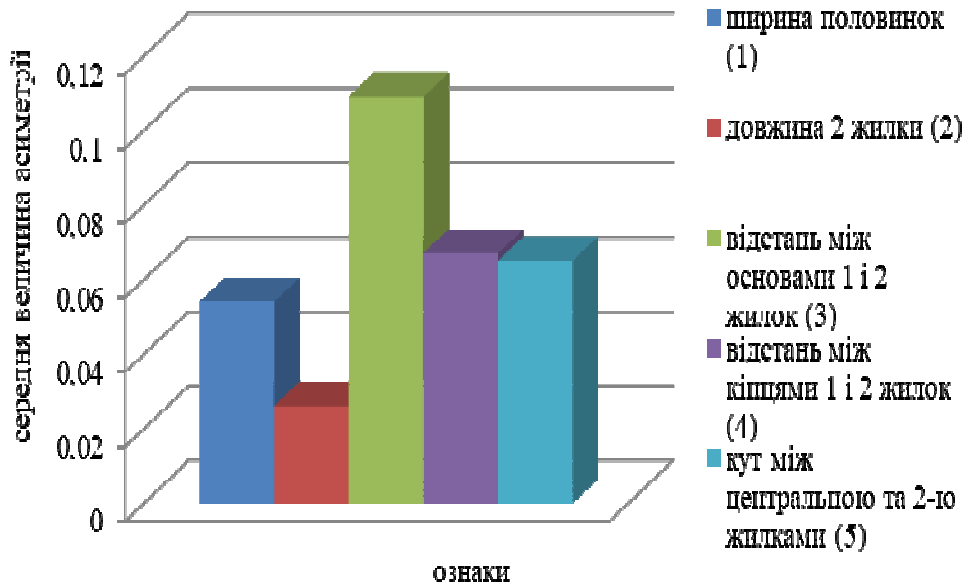


Рисунок. Середня величина асиметрії для кожної ознаки по місту загалом

Порівняльний аналіз одержаних результатів за інтегральним показником флюктуючої асиметрії берези повислої (*B. pendula*) дозволяє віднести територію парку культури та відпочинку ім. Т. Шевченка та вул. Мельника до «критичного» стану (5 балів) за шкалою В.М. Захарова, тоді як території поблизу залізничного вокзалу, автостанції «Чайка», міської лікарні (вул. М. Карнаухова), перехрестя біля ресторану «Істанбул» та вздовж вул. М. Карнаухова – належать за рівнем \bar{X} до «напруженого стану» (табл. 3).

Інтегральний показник асиметрії берези повислої (*B. pendula*) у районі автовокзалу, по вул. Басівкутська, вул. Вербова та у районі Північний знаходиться у межах 0,060-0,065, що відповідає «помірному» стану за силою впливу на біоту. За одержаними результатами досліджень серед обраних точок біомоніторингу, території поблизу ринку «Дикий», у центрі міста поблизу школи № 2, та у поблизу НВК № 12 належать до регіонів, що за рівнем \bar{X} максимально наближені до «умовної норми». А інтегральні показники асиметрії популяції берези повислої (*B. pendula*) по вул. С. Бандери та вул. М. Карнаухова лежать в межах менші за 0,055, що відповідають фоновим територіям.

Таблиця 3

Характеристика районів м. Рівного за інтегральним показником флюктуючої асиметрії популяції *Betula pendula*

Досліджувані райони	Середнє значення асиметрії	Бал	Характеристика стану середовища
Район залізничного вокзалу	0,068	4	Сильно забруднений район («напружений» стан)
Район автовокзалу	0,062	3	Забруднений район («помірний» стан)
Автостанція "Чайка"	0,066	4	Сильно забруднений район («напружений» стан)
Міська лікарня	0,066	4	Сильно забруднений район («напружений» стан)
Район ринку "Дикий"	0,059	2	Рослини зазнають слабого впливу негативних факторів
Район біля ресторану "Істанбул"	0,070	4	Сильно забруднений район («напружений» стан)
Вул. О. Новака	0,065	4	Сильно забруднений район («напружений» стан)
Вул. М. Карнаухова	0,052	1	Умовна норма
Парк ім. Шевченка	0,087	5	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться у дуже пригніченому стані («критичний» стан)
Вул. С. Бандери	0,050	1	Умовна норма
Вул. Басівкутська	0,065	3	Забруднений район («помірний» стан)
Центр міста (школа №2)	0,058	2	Рослини зазнають слабого впливу негативних факторів
Район НВК №12	0,055	2	Рослини зазнають слабого впливу негативних факторів
Район Північний	0,062	3	Забруднений район («помірний» стан)
Вул. Вербова	0,060	3	Забруднений район («помірний» стан)
Вул. Мельника	0,074	5	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться у дуже пригніченому стані («критичний» стан)

Висновки. Таким чином, найвищий рівень відхилення флюктуючої асиметрії від норми встановлено на околицях міського парку культури та відпочинку ім. Т. Шевченка (0,087), що відповідає «критичному» стану за шкалою В. М. Захарова. Встановлено, що умови «критичних» ділянок та високі значення інтегрального показника флюктуючої асиметрії пов'язані з інтенсивним рухом автотранспорту та щільною житловою забудовою, а також із пониженням рельєфу.

Запропоновано для подальшого оцінювання стану середовища урбоєкосистеми міста Рівне за ознаку-маркер використовувати відс-

тань між основами першої та другої жилки, оскільки з усіх досліджених вона є найбільш чутливою до впливу факторів навколишнього середовища.

- 1.** Кучерявий В. П. Урбоекологія : підручник / В. П. Кучерявий. – Львів : Вид-во "Світ", 2002. – 440 с.
- 2.** Клименко М. О. Моніторинг довкілля : підручник / М. О. Клименко, А. М. Прищеп, Н. М. Вознюк. – Київ : Академія, 2006.
- 3.** Клименко М. О. Оцінювання стану міста Рівне за показниками еколого-соціального моніторингу; Монографія / Клименко М. О., Прищеп А. М., Хомич Н. Р.; за редакцією Прищепи А. М. – Рівне : НУВГП, 2014. – 253 с.
- 4.** Захаров В. М. Биотест: интегральная оценка уровней загрязнения воздуха в условиях промышленного города / В. М. Захаров, Д. М. Кларк. – М. : Биотест, 1993. – 68 с.
- 5.** Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 66 с.
- 6.** Легета У. В. Оцінка екологічного стану території Чернівецької області за інтегральним показником флуктуючої асиметрії (на прикладі *Tussilago farfara* L.) / У. В. Легета, І. О. Ситнікова // Зб. наук. праць «Природничий альманах». Сер. Біол. науки. – Херсон, 2009. – Вип. 13. – С. 98–105.
- 7.** Гуртяк А. А. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора / Гуртяк А. А., Углев А. А. // Изв. Том. политех. ун-та. – 2010. – Т. 317, № 1. – С. 200–204.
- 8.** Мандра Ю. А. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Кисловодска на основе анализа флуктуирующей асимметрии / Ю. А. Мандра, Р. С. Еременко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. Т. 12. – № 1. – С. 1990–1994.
- 9.** Зорина А. А. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии / Зорина А. А., Коросов А. В. // Экология. Экспериментальная генетика и физиология: труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2007. – Вып. 11. – С. 28–36.
- 10.** Зеленская Т. Г. Анализ автотранспортной нагрузки и основных выбросов на центральных дорогах г. Невинномысска / Т. Г. Зеленская, М. И. Юшина // Сборник научных трудов SWorld: Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития. Том 1. – Одесса, 2012. – С. 83.
- 11.** Неверова О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
- 12.** Луцкан Е. Г. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Алдана на основе анализа флуктуирующей асимметрии березы плосколистной / Е. Г. Луцкан, Е. Г. Шадрин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 8. – С. 139–141.
- 13.** Жуков О. В. Оцінка методами геометричної морфометрії морфологічної мінливості листових пластинок *Betula pendula* Roth в екосистемах з різним ступенем антропогенної трансформації / О. В. Жуков, Ю. О. Штірц, С. П. Жуков // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11). – С. 128–134.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Клименко М. О. (НУВГП)

Pryshchepa A. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor, Borshchevska I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Budnik Z. M., Assistant, Brezhytska O. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kuryliuk O. M., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

BIOINDICATION ESTIMATION OF RIVNE CITY'S AIR ENVIRONMENT ON THE BASIS OF THE FLUCTUATING ASYMMETRY ANALYSIS

Certainly level of contamination of Rivne air environment by a bioindication method. Measuring of basic morphological parameters and certainly indexes of fluctuating asymmetry of sheet plates silver birch is conducted (*Betula pendula*). Found out influence of contamination of atmospheric air on morphological signs and state of genesic organs of silver birch (*B. pendula*). The state of air environment is appraised after the size of fluctuating asymmetry of sheet vehicle of silver birch (*B. pendula*).

***Keywords:* fluctuating asymmetry, bilateralism, sheet plates, genesic organs, morphological signs, sign-marker, contamination of atmosphere.**

Прищеп А. Н., к.с.-х.н., профессор, Борщевская И. М., к.с.-х.н., доцент, Будник З. Н., ассистент, Брежицкая Е. А., к.с.-х.н., доцент, Курилюк О. М., аспирант (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА РОВНО НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ

Определен уровень загрязнения воздушной среды г. Ровно биоиндикационным методом. Проведено измерение основных морфологических параметров и определены показатели флуктуирующей асимметрии листовых пластин березы повислой (*Betula pendula*). Обнаружено влияние загрязнения атмосферного воздуха на морфологические признаки и состояние генеративных органов березы повислой (*B. pendula*). Оценено состояние воздушной среды по величине флуктуирующей асимметрии листового аппарата березы повислой (*B. pendula*).

***Ключевые слова:* флуктуирующая асимметрия, билатеральная симметрия, листовые пластины, генеративные органы, морфологические признаки, признак-маркер, загрязнение атмосферы.**