

УДК 582.632.1:581.522.4(477.44)  
DOI <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2021-1-04>

## Оцінка стану міського середовища за показниками флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* Roth. (на прикладі м. Могилів-Подільський)

Машталер О. В., Милка А. В., Мікуліч Л. О.

ORCID: 0000-0003-1896-824X

Донецький національний університет імені Василя Стуса

[o.mashtaler@donnu.edu.ua](mailto:o.mashtaler@donnu.edu.ua)

**Ключові слова:** флуктуюча асиметрія листків, *Betula pendula* Roth., моніторинг, біоіндикація.

У статті представлено результати досліджень показників флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* Roth. у м. Могилів-Подільський (Вінницька обл.) та оцінки стану міського середовища. Флуктуюча асиметрія є показником стабільності розвитку організмів в умовах урбанізованого середовища. Упродовж двох років досліджували зразки з десяти моніторингових точок за п'ятьма вибраними показниками. У результаті було встановлено відмінності за середніми показниками флуктуючої асиметрії в різних моніторингових точках м. Могилів-Подільський. З'ясовано, що найбільшого рівня антропопресінг сягає у трьох точках: Міжнародному пункті пропуску «Могилів-Подільський – Отач» (митниці), ринку та 119-му мікрорайоні. Показники в цих точках мають максимальні значення, що відповідає критичному стану середовища. Визначено, що більшість досліджених територій за показниками флуктуючої асиметрії фіксується в межах середнього рівня відхилення від норми. Також встановлено градацію за ступенем збільшення показників флуктуючої асиметрії серед досліджених моніторингових точок м. Могилів-Подільський: 5>6>10>2>4>1>3; 7; 8>9. Отримані дані свідчать про те, що для листків *Betula pendula* найчутливішим до впливу урбанізованого середовища є параметр 3 (відстань між основами першої та другої жилок другого порядку). Встановлено, що параметр 2 (довжина другої жилки другого порядку) є найбільш стійким до впливу чинників техногенного забруднення середовища. За результатами середнього значення флуктуючої асиметрії встановлено залежність параметрів листків від рівнів антропопресінгу довкілля. Найбільшого техногенного впливу *Betula pendula* зазнає біля промислових підприємств та вздовж вулиць з інтенсивним транспортним потоком. З'ясовано, що зі збільшенням відстані до джерела забруднення спостерігається зниження показника флуктуючої асиметрії.

## Evaluating the urban environment by fluctuating asymmetry of leaves *Betula pendula* Roth. in Mohyliv-Podilskyi city

Mashtaler O. V., Mylka A. V., Mikulich L. O.

ORCID: 0000-0003-1896-824X

Vasyl Stus Donetsk National University

o.mashtaler@donnu.edu.ua

**Key words:** fluctuating asymmetry of leaves, *Betula pendula* Roth., monitoring, bioindication.

The article presents the results of studies of fluctuating asymmetry of leaves of *Betula pendula* Roth. in Mohyliv-Podilskyi city (Vinnytsia region) and assessments of the urban environmental conditions. Fluctuating asymmetry is an indicator of the stability of systemic plant development in an urban environment. The samples were obtained from ten monitoring sites during two years by five selected morphometric parameters. As a result, we established differences in the average indicators of fluctuating asymmetry in different monitoring points in Mohyliv-Podilskyi. It was found that the highest level of anthropopressing reaches three points, including the international checkpoint “Mohyliv-Podilskyi – Otach” (customs), the market and 119<sup>th</sup> microdistrict. Indicators at these points had a maximum values that correspond to the critical state of the environment. It is determined that the vast majority of the studied areas, in terms of fluctuating asymmetry is fixed within the average level of deviation from the norms. There is also a gradation according to the degree of increase of fluctuating asymmetry indicators among the studied monitoring points in Mohyliv-Podilskyi: 5>6>10>2>4>1>3; 7; 8>9. The data obtained indicate that parameter 3 (the distance between the bases of the first and second veins of the second order) is the most sensitive to the effects of urban environments for *Betula pendula* leaves. It is determined that parameter 2 (the length of the second vein of the second order) is the most resistant to the influence of pollution factors. According to the results of the fluctuating asymmetry's average value, the dependence of the leaf parameters on the levels of anthropopressing of the environment was established. Leaves of *Betula pendula* was mostly affected near industrial plants and along high-traffic streets. It was found that there is a decrease in the fluctuating asymmetry with increasing distance to the source of contamination.

### Вступ

Здійснення якісної експрес-оцінки рівня забруднення компонентів довкілля є актуальним напрямом для суспільства. Це дає можливість отримати інформацію про реальний стан природних ресурсів, рівні забруднення вибраної території, вплив промислового комплексу на довкілля та заходи щодо покращення й стабілізації ситуації. Для вирішення цих питань необхідно систематично здійснювати моніторингові дослідження. Для оцінки стану середовища використовується низка методів, серед яких дедалі більшого значення надають біологічним. Серед біоіндикаційних об'єктів найбільш затребувані ті, що відрізняються частотою трапляння на вибраній території, порівняно швидкою реакцією на зміни середовища, необмеженими обсягами матеріалу для отримання репрезентативних вибірок і є перспективними для тривалого моніторингу. Зі

збільшенням стресу навколишнього середовища здатність протистояти порушенням розвитку та стійкість організмів до відновлення після таких порушень призводить до нестабільності чи помилок, які можна легко виміряти як відхилення від симетрії<sup>1</sup>. Флуктуюча асиметрія (далі – ФА) – це показник стабільності розвитку організмів, які мають білатеральну будову досліджуваних структур, що базується на результатах розподілу різниці між лівою та правою сторонами<sup>3</sup>.

Серед покритонасінних рослин одним із таких універсальних біоіндикаторів є *Betula pendula* Roth., яка поширена по всій території України та листки якої можна використовувати для біоіндикації стану довкілля, досліджуючи показники флуктуючої асиметрії. Використання листків для біоіндикаційних досліджень зумовлене тим, що це один із найбільш екологічно пластичних поліфункціональних вегетативних органів рослин. Згідно з результатами багатьох дослідників<sup>4-7, 10-12</sup>,

саме *Betula pendula* представляє інтерес у біоіндикації для оцінки екологічного стресу на рівні не тільки фенотипової оцінки ФА листків, а й генотипової мінливості.

**Мета роботи** – в умовах урбанізованого середовища здійснити оцінку стану довкілля за показником флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula*.

### Матеріали та методи

Матеріалом досліджень слугували листки *Betula pendula*, відібрані після зупинки росту листя (кінець серпня – початок вересня). Кожна вибірка складалася з 20 листових пластинок у трикратній повторюваності.

Для збору матеріалу вибирали дерева приблизно одного віку, листки без наявних ушкоджень збирали на висоті 2 м від поверхні землі. Камеральну обробку результатів проводили на базі кафедри ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса.

З кожного листка знімали показники з лівої та правої сторони за п'ятьма параметрами (див. рис. 1):

- 1) ширина половини листової пластинки;
- 2) довжина другої жилки другого порядку від основи листка;
- 3) відстань між основами 1 і 2 жилок другого порядку;
- 4) відстань між кінцями 1 і 2 жилок другого порядку;
- 5) кут між основною жилкою (першого порядку) і другою від основи жилкою другого порядку.

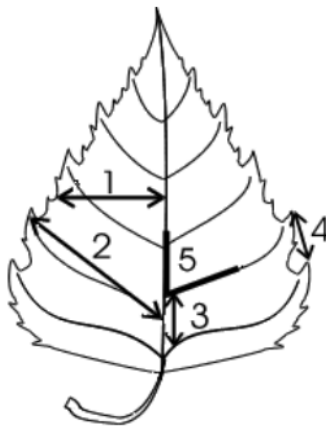


Рис. 1. Морфометричні параметри листової пластинки *Betula pendula* для визначення показника ФА

У процесі аналізу комплексу морфологічних ознак використовували інтегральний показник за методикою В.М. Захарова<sup>5</sup>. Стабільність розвитку та його відхилення від норми на основі показника ФА визначали за п'ятибальною шкалою (див. табл. 1), де кожному балу відповідає певне значення.

Таблиця 1 – Стабільність розвитку та значення показника асиметрії (X)

Бал	Опис стану та розвитку середовища	Значення показника асиметрії «X»
1	Умовна норма	до 0,040
2	Початкові (незначні) відхилення від норми	0,040–0,044
3	Середній рівень відхилення від норми	0,045–0,049
4	Істотні (значні) відхилення від норми	0,050–0,054
5	Критичний стан	більше 0,054

Отримані результати оброблено статистичними методами<sup>8, 9</sup> та за допомогою прикладної програми Excel; рівень вірогідності 0,95% ( $P < 0,05$ ).

### Результати

Місто Могилів-Подільський – це місто обласного значення Вінницької області, що розташоване на південному заході області за 119 км від обласного центру, м. Вінниці, та за 344 км від м. Києва у глибокій і вузькій долині Дністра при впадінні його лівих протоків (річок Дерло та Немія), пролягає вздовж берегової лінії на 14 км. Середня висота над рівнем моря – 80 м. Територія – 21,63 км<sup>2</sup>. Особливістю Могилева-Подільського є те, що місто прикордонне. Залізниця та важливі шосейні шляхи із системою мостів через Дністер (їх три) роблять місто важливим посередником в економічних зв'язках України з Молдовою, Румунією, Болгарією та іншими країнами. Використовуються також можливості річки Дністер як водного шляху. Проживає в місті приблизно 31 тис. населення<sup>13, 14</sup>. На сьогодні в місті функціонують ПРАТ «Могилів-Подільський машинобудівний завод», ПАТ «Могилів-Подільський консервний завод», підприємства легкої та харчової промисловості.

Упродовж 2019–2020 рр. досліджували листки *Betula pendula* за показником флуктуючої асиметрії з десяти моніторингових точок м. Могилів-Подільський (Вінницька обл.), що відображено на рисунку 2.

Вибрані моніторингові точки мають таку характеристику:

1. Могилів-Подільська окружна лікарня інтенсивного лікування: територія розташована в затишному місті, відстань до дороги – приблизно 500 м. Автомобільне навантаження є нижчим за середній рівень.

2. Могилів-Подільський машинобудівний завод: територія заводу (що функціонує неповною мірою) розташована поблизу дороги з надмірним транспортним навантаженням.

3. Могилів-Подільський залізничний вокзал: інтенсивний рух залізничного транспорту, поруч

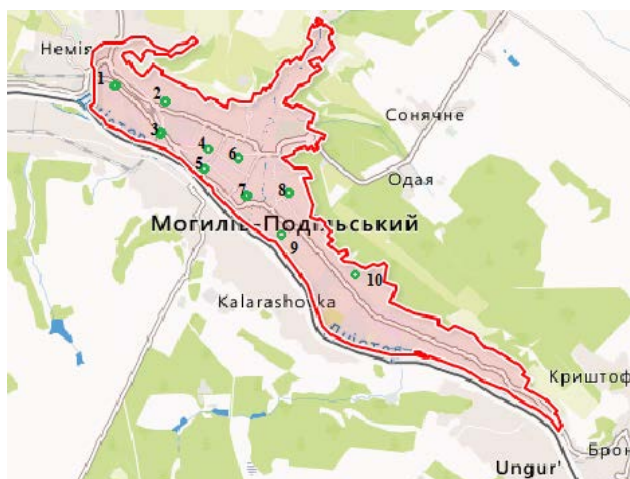


Рис. 2. Карта-схема м. Могилів-Подільський із моніторинговими точками: 1 – Могилів-Подільська окружна лікарня інтенсивного лікування; 2 – Могилів-Подільський машинобудівний завод; 3 – Могилів-Подільський залізничний вокзал; 4 – Кіровський район, житловий мікрорайон; 5 – Міжнародний пункт пропуску «Могилів-Подільський – Отач»; 6 – ринок; 7 – Центральний район; 8 – міський стадіон «Олімп»; 9 – район «Калантирь», вулиця Дачна; 10 – 119-й мікрорайон

автомобільна дорога, якою вантажний транспорт прямує до митниці.

4. Кіровський район: спальний житловий мікрорайон, двір поблизу житлових будинків; поряд проходить дорога до цього двору. Автомобільне навантаження є нижчим за середній рівень.

5. Міжнародний пункт пропуску «Могилів-Подільський – Отач» (митниця): надмірне транспортне навантаження; поблизу протікає річка Дністер.

6. Ринок: розташований уздовж центральної дороги міста; надмірне транспортне навантаження.

7. Центральний район: спальний житловий мікрорайон, двір поблизу житлових будинків.

Автомобільне навантаження є нижчим за середній рівень.

8. Міський стадіон «Олімп»: автомобільне навантаження середнього рівня.

9. Район «Калантирь», вулиця Дачна: дачний район міста; максимальна віддаленість від дороги. Автомобільне навантаження мінімального рівня. Поблизу протікає річка Дністер.

10. 119-й мікрорайон: спальний житловий мікрорайон, двір поблизу житлових будинків. Автомобільне навантаження є нижчим за середній рівень. Неподалік розташоване ПАТ «Могилів-Подільський консервний завод».

Дослідження морфометричних параметрів листків *Betula pendula* та визначення показників ФА впродовж двох років (2019–2020 рр.) не виявило значних коливань ФА (див. табл. 2). Значення коефіцієнта варіації (CV) для всіх моніторингових точок упродовж періоду дослідження виявилися в межах слабкої варіації – не більше 10%<sup>9</sup>.

У ході проведення досліджень було встановлено загальний усереднений показник ФА морфологічних параметрів листової пластинки *Betula pendula* (див. рис. 3).

Виявлені відмінності за середніми показниками ФА, що є сукупним відображенням порушення стабільності розвитку листків вибраного виду в різних моніторингових точках м. Могилів-Подільський.

Максимальний показник ФА *Betula pendula* відмічений у точках 5 (пункт пропуску «Могилів-Подільський – Отач»), 6 (ринок) та 10 (119-й мікрорайон), що відповідають критичному стану та мають максимальний бал. На основі обчислення середнього значення ФА встановлена залежність порушення рівня симетрії від забруднення: чим більший рівень навантаження на довкілля, тим більші показники ФА. Найбільшого техногенного впливу *Betula pendula* зазнає, на нашу думку, завдяки великій інтенсивності транспортного потоку. Точка 2 (Могилів-Подільський машинобудівний завод) має коефіцієнт ФА 0,051. Таке значення характеризує досліджену територію як ту, що має істотні відхи-

Таблиця 2 – Показники та варіабельність ФА в моніторингових точках м. Могилів-Подільський

Район (моніторингова точка)	2019		2020		Середнє за 2 роки	
	M±m	CV, %	M±m	CV, %	M±m	CV, %
Лікарня	0,043±0,005	0,45	0,049±0,003	0,55	0,046±0,005	0,50
Машинобудівний завод	0,052±0,004	0,60	0,050±0,004	0,50	0,051±0,006	0,55
Залізничний вокзал	0,050±0,005	0,55	0,040±0,005	0,65	0,045±0,006	0,60
Кіровський район	0,047±0,006	0,68	0,051±0,005	0,73	0,049±0,007	0,71
Митниця	0,074±0,007	0,45	0,070±0,006	0,49	0,072±0,007	0,47
Ринок	0,071±0,019	0,67	0,065±0,013	0,71	0,068±0,015	0,69
Центральний район	0,043±0,003	0,52	0,047±0,005	0,50	0,045±0,005	0,51
Стадіон «Олімп»	0,044±0,005	0,66	0,046±0,004	0,68	0,045±0,006	0,67
Калантирь	0,043±0,006	0,80	0,039±0,005	0,75	0,041±0,007	0,78
119-й мікрорайон	0,061±0,006	0,63	0,055±0,007	0,58	0,058±0,007	0,60



лення від норми. На цій ділянці рослини зазнають значного впливу негативних факторів<sup>14</sup>.

У моніторингових точках 1, 3, 4, 7, 8 коефіцієнт ФА коливається в межах 0,045–0,049 та фіксується в межах середнього рівня відхилення від норми (див. табл. 3).

Мінімальні показники асиметрії (0,041) спостерігаються в районі Калантирь, вул. Дачна. Це пов'язано з тим, що зазначена ділянка має один із найменших транспортних потоків, найбільш віддалена від центральної траси. Переважає рекреаційне навантаження, яке не має суттєвого впливу на показники ФА. За результатами досліджень саме ця територія належить до моніторингової точки, що має незначні відхилення від норми.

Згідно з результатами замірів та статистичної обробки величини асиметрії ФА за 5 параметрами листкової пластинки *Betula pendula* найбільш стійкою виявилася ознака Y2 – довжина другої жилки другого порядку від основи листка (0,0267), що свідчить про стійкість до факторів навколишнього середовища (див. рис. 4).

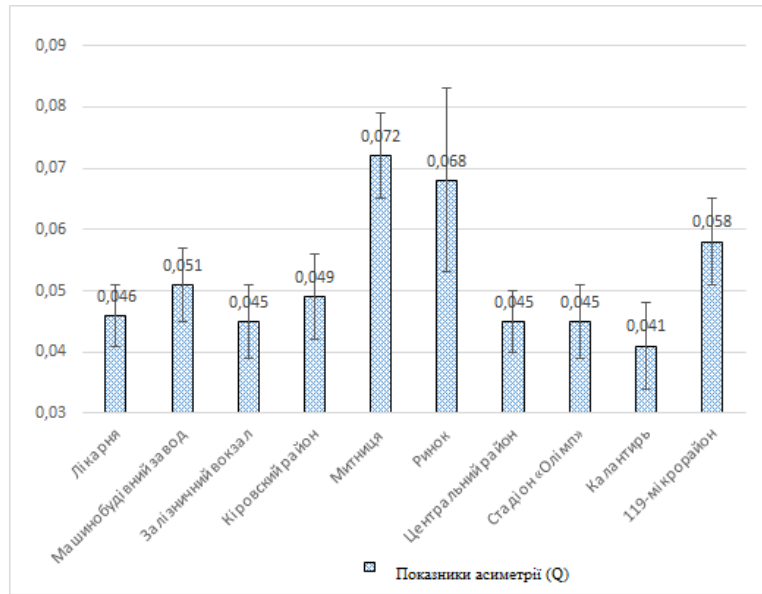


Рис. 3. Середні значення показників флюктуючої асиметрії листків *Betula pendula* в моніторингових точках м. Могилів-Подільський

За параметром Y3 (відстань між основами першої та другої жилки другого порядку) розбіжність між показниками лівої та правої сторони листка виявилася максимальною (0,1812).

Таблиця 3 – Характеристика моніторингових точок м. Могилів-Подільський за інтегральним показником флюктуючої асиметрії популяцій *Betula pendula*

Район (моніторингова точка)	Показники асиметрії (Q)	Бал	Характеристика стану середовища
1. Лікарня	0,046	3	Середній рівень відхилення від норми
2. Машинобудівний завод	0,051	4	Істотні відхилення від норми
3. Залізничний вокзал	0,045	3	Середній рівень відхилення від норми
4. Кіровський район	0,049	3	Середній рівень відхилення від норми
5. Митниця	0,072	5	Критичний стан
6. Ринок	0,068	5	Критичний стан
7. Центральний район	0,045	3	Середній рівень відхилення від норми
8. Стадіон «Олімп»	0,045	3	Середній рівень відхилення від норми
9. Калантирь	0,041	2	Початкові (незначні) відхилення від норми
10. 119-й мікрорайон	0,058	5	Критичний стан

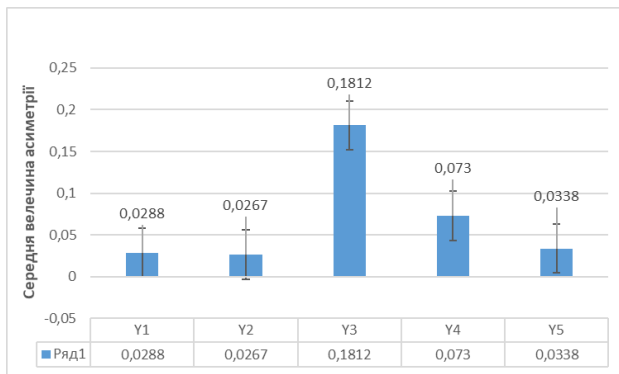


Рис. 4. Величини асиметрії ФА за 5 параметрами листкової пластинки *Betula pendula*

## Обговорення

Ідеальні умови розвитку<sup>5</sup> регламентують насамперед стабільність розвитку особин, наближеного до ідеального стану. У реальних умовах стабільність розвитку чітко реагує на умови довкілля. Одним із таких показників вибрано ФА, за результатами зміни якої можна фіксувати наявні відхилення у стані довкілля<sup>2</sup>. Отже, за результатами дослідження ФА в листків *Betula pendula* можна не лише зробити відповідну оцінку якості середовища для кожної вибраної моніторингової точки, а й надати характеристику розвитку як окремих особин *Betula pendula*, так і її популяції<sup>5</sup>.

За результатами досліджень багатьох учених<sup>2-7, 10-12</sup> підтверджено, що на стабільність розвитку *Betula pendula* впливають не тільки антропогенні чинники (результати функціонування промислового комплексу, інтенсивний автотранспорт), а й біотичні фактори, наприклад: видова та міжвидова конкуренція, наявність захворювань, паразитів. Абіотичні фактори також мають неабиякий вплив на розвиток *Betula pendula*. Наприклад, надмірні температури повітря, посуха, інтенсивні інсоляції можуть бути причиною порушення анатомо-морфологічної будови листків, функціонування асиміляційного апарату, зниження чи підвищення кількості пігментів<sup>10-12</sup>.

За результатами наших досліджень показники ФА листків *Betula pendula* доцільно використовувати для надання оцінки стану міського середовища. Ця методика не потребує значних матеріальних вкладень і спеціальної інструментальної бази, є доступною для більшості територій, оскільки вибраний для дослідження вид є поширеним у міських екосистемах.

## Висновки

Згідно з отриманими експериментальними даними показники ФА *Betula pendula* зростають у місцях високого антропогенного навантаження. Ми з'ясували, що серед вибраних моніторингових точок м. Могилів-Подільський найбільшого рівня антропопресінг сягає у трьох точках: Міжнародному пункті пропуску «Могилів-Подільський – Отач» (митниці), ринку та 119-му мікрорайоні. Більшість досліджених територій за показниками ФА належить до таких, що мають середній рівень відхилення від норми.

Найбільш чутливим до впливу урботехногенного середовища пластинки *Betula pendula* є показник 3 параметра (відстань між основами першої та другої жилки другого порядку), середнє значення якого становить 0,181.

Нами визначено, що параметр 2 (довжина другої жилки другого порядку) є найбільш стійким до впливу чинників техногенного забруднення середовища, асиметрія не перевищує 0,026.

На основі обчислення середнього значення флюктууючої асиметрії встановлено залежність порушення рівня симетрії внаслідок забруднення довкілля. Найбільшого техногенного впливу *Betula pendula* зазнає в місцях поблизу промислових підприємств та вздовж вулиць з інтенсивним транспортним потоком (межі коливання від 0,058 до 0,072). У результаті встановлена така градація серед досліджених моніторингових точок м. Могилів-Подільський за ступенем збільшення показників ФА: 5>6>10>2>4>1>3; 7; 8>9. Отже, можна підтвердити гіпотезу, що зі збільшенням відстані від джерела забруднення спостерігається зниження показника флюктууючої асиметрії.

## Література

- (1) Graham, J.H.; Raz, S.; Hel-Or, H.; Nevo, E. Fluctuating asymmetry: methods, theory and applications. *Symmetry*. **2010**, 2 (2), 466–540. <https://doi.org/10.3390/sym2020466>.
- (2) Palmer, A.R.; Strobeck, C. Fluctuating asymmetry analyses revisited. *Developmental Instability: Causes and Consequences*. New York, USA: Oxford University Press, **2003**, 279–319.
- (3) Mendes, G.; Boaventura, M.G.; Cornelissen, T. Fluctuating Asymmetry as a Bioindicator of Environmental Stress Caused by Pollution in a Pioneer Plant Species. *Environmental Entomology*. **2018**, 47 (6), 1479–1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>.
- (4) Бессонова, В.П. Методи біоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля. Запоріжжя: ЗДУ, **2001**. 196 с.
- (5) Baranov, S.G. Morphometric Analyses of (Hidden) Directional Asymmetry in Leaf Blades. *Emerging Science Journal*. **2018**, 2 (4), 170–180. <http://dx.doi.org/10.28991/esj-2018-01141>.
- (6) Захаров; В.М.; Баранов; А.С.; Борисов; В.И.; Валецкий; А.В.; Кряжева; Н.Г.; Чистякова; Е.К.; Чубинишвили; А.Т. Здоровье среды: методика оценки. Москва: Центр экологической политики России, **2000**. 68 с.
- (7) Скляренко, А.В. Оцінювання впливу промислових умов на величину флюктууючої асиметрії листової пластинки *Betula pendula* Запоріжжя. *Науковий вісник НЛТУ України*. **2019**, 29 (6), 54–57. <https://doi.org/10.15421/40290611>.
- (8) Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, **2011**. 352 с.

- (9) Лакин, Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1990. 351 с.
- (10) Freeman, D.C., Graham, J.H., Emlen, J.M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis. *Genetica*, 89, 1993, 97–119. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02424508>.
- (11) Юсипіва, Т.І. Зміни анатомічних характеристик стебла однорічного пагона *Betula pendula* Roth. за дії антропогенного навантаження. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2016, 72, 125–133.
- (12) Петрушкевич, Ю.М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Біологія*. 2018, 1 (72), 82–89.
- (13) Панасюк, Т.В.; Фоменко, Т.А.; Щербакова, І.Л. Могилів-Подільський. *Енциклопедія сучасної України* (електронна версія): вебсайт / гол. редкол.: І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2019. URL: [https://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=69552](https://esu.com.ua/search_articles.php?id=69552) (дата звернення: 11.10.2021).
- (14) Екологічний паспорт Вінницької області за 2019 рік. Додаток до Порядку взаємодії Міністерства екології та природних ресурсів України з обласними, Київською і Севастопольською міськими державними адміністраціями з питань охорони навколишнього природного середовища (пункт 1 розділу III). URL: <http://www.vin.gov.ua/dep-apr/stan-dovkillia/239-ekolohichni-pasporty/29108-ekolohichni-pasport-oblasti-za-2019> (дата звернення: 09.10.2021).