

---

# BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY

---

---



V. S. Gavrikova<sup>1</sup>✉

O. A. Ignatyuk<sup>2</sup>

Dr. Sci. (Pedag.), Professor

UDK 574.21

---

<sup>1</sup>*Institute for evolutionary ecology of NAS of Ukraine,  
acad. Lebedev str., 37, 03143, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Pedagogical Dragomanov University,  
Pyrohova str., 9, 01601, Kyiv, Ukraine*

---

## THE DYNAMICS OF FLUCTUATING ASYMMETRY OF *ACER PLATANOIDES* L. LEAVES IN URBANIZED ENVIRONMENT

**Abstract.** The paper discusses the investigation of stability of developmental processes of vegetative organs of *Acer platanoides* L. trees from different habitats (derivative of natural stands and managed plantations). Developmental stability (instability) is appraised based on the value of the index of leaves fluctuating asymmetry. The various aspects of the dynamics of fluctuating asymmetry of *Acer platanoides* L. leaves are discussed from the perspective of its using with the purpose of bioindication of urbanized environmental state.

The method of the detection of fluctuating asymmetry values of *A. platanoides* leaves using the five original morphological parameters that are well detected on recently collected leaves and can be successfully measured on the digital image is developed and suggested by authors. Modification of the method (namely, measuring by using the digital image) is admitted to avoid long-termed measuring the recently collected leaves which will wither quickly enough and change its shape and size. It is established, that there is no significant differences of asymmetry of individual leaves within the tree.

The series of experiments in the "Feofania" was investigated with the purpose of studying the patterns of the dynamics of fluctuating asymmetry during the season. The assays from the same nine trees were collected in May (directly after the leaf-forming), June, July. It is showed, that the fluctuating asymmetry values of *A. platanoides* leaves are not changed reliably ( $p=0,05$ ) within the tree and the whole habitat during the season. Therefore, biomonitoring and bioindication using the fluctuating asymmetry of leaves can be conducted at the beginning and the end of the vegetative season.

The three years dynamics of fluctuating asymmetry values of *A. platanoides* leaves from eight habitats in Kyiv is investigated. During three years the value of fluctuating asymmetry is varied in the short interval – from 6 % to 8 %. It is founded, that the tendency of changing the fluctuating asymmetry values is different for various habitats. The fluctuating asymmetry value of *A. platanoides* leaves for four habitats ("Feofania", "Lysa Gora", "Goloseevskiy Park", "Desnyanskiy Park") of the eight investigated decreases during the 3-year period. The highest values are recorded for three habitats ("Pushcha-Vodytsia", "Vossoedinenia Avenue", "Siretskyi Grove") in 2012. The tendency of the asymmetry increasing during the whole period of investigation is recorded in only one habitat ("Ivana Kudri Street"). The fluctuating asymmetry value in 2013 is lower than the value of this parameter in 2012 in seven of the eight habitats (except "Ivana Kudri Street"). The averaged annual fluctuating asymmetry values in all habitats of the megalopolis also suggest that there is a slight decrease of the asymmetry value in 2013 in comparison with previous years.

---

✉ Tel.: +38063-372-96-39. E-mail: viktorija100@i.ua

DOI: 10.15421/031418

Discovered differences of the fluctuating asymmetry values of *A. platanoides* leaves in studied habitats in different years show the tendency, which does not give the clear picture. Apparently, it is connected with the certain constellation of existing natural and anthropogenic factors. To discovery its regularity the more prolonged and profound investigations should be conducted. Therefore, to get representative results of monitoring we recommend conducting the bioindication with using the fluctuating asymmetry values of *A. platanoides* leaves during several (minimum three) years running.

The comparison of the averaged (during three years) values of the fluctuating asymmetry of every habitat and the averaged value of the whole megalopolis shows normalized results. The habitats "Desnyanskiy Park" and "Vossoedinenia Avenue" demonstrate reliably higher fluctuating asymmetry. There is also the similar fluctuating asymmetry value of leaves from habitat "Ivana Kudri Street". The averaged fluctuating asymmetry values of leaves from habitats "Siretskiy Grove" and "Goloseevskiy Park" are reliably lower than the averaged value of the megalopolis. Therefore, the highest values of the fluctuating asymmetry of *A. platanoides* leaves, which show the least stable developmental processes of plants, are founded on the territories, that have the maximum level of urbanization. These habitats are managed plantation. The others investigated habitats are natural stands. It is detected, that the fluctuating asymmetry value of *A. platanoides* leaves decreases when proportion of its dominance in the stands increases. It should be appreciated when choosing the control group of plants during the monitoring. The control group should be from the natural stand with the maximum dominance of the relevant species.

**Key words:** bioindication, developmental stability, dynamics of fluctuating asymmetry, *Acer platanoides*.

УДК 574.21

**В. С. Гаврикова<sup>1</sup>**

**О. А. Игнатьюк<sup>2</sup>**

д-р педаг. наук, проф.

<sup>1</sup>Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. акад. Лебедева, 37, 03143, г. Киев, Украина,

<sup>2</sup>Национальный педагогический университет имени М. П. Драгоманова, ул. Пирогова, 9, 01601, г. Киев, Украина, тел.: +38063-372-96-39, e-mail: viktoria100@i.ua

### **ДИНАМИКА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ ACER PLATANOIDES L. УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Исследовано динамику величины флуктуирующей асимметрии листьев *Acer platanoides* L. восьми местопроизрастаний г. Киева в течении трех лет. Показано отсутствие колебаний исследуемых показателей в пределах определенного местопроизрастания в течении года и их наличие в разные годы. Установлено, что для получения репрезентативных результатов необходимо проводить исследование в течении нескольких лет подряд. Обнаружено, что деревьям естественных местопроизрастаний свойственны достоверно низкие величины асимметрии листьев, чем деревьям искусственных насаждений.

**Ключевые слова:** биоиндикация, стабильность развития, динамика флуктуирующей асимметрии, *Acer platanoides*.

УДК 574.21

**В. С. Гаврикова<sup>1</sup>**

**О. А. Игнатьюк<sup>2</sup>**

д-р педаг. наук, проф.

<sup>1</sup>Институт еволюційної екології НАН України, вул. акад. Лебедева, 37, 03143, м. Київ, Україна,

<sup>2</sup>Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, вул. Пирогова, 9, 01601, м. Київ, Україна, тел.: +38063-372-96-39, e-mail: viktoria100@i.ua

### **ДИНАМІКА ФЛУКТУЮЧОЇ АСИМЕТРІЇ ЛИСТКІВ ACER PLATANOIDES L. УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

Досліджено динаміку величини флуктуючої асиметрії листків *Acer platanoides* L. восьми місцезростань м. Києва протягом трьох років. Показано відсутність суттєвих коливань досліджуваних показників у межах певного місцезростання протягом року та їх наявність у

різні роки. Встановлено, що для отримання репрезентативних результатів необхідно проводити дослідження протягом декількох років поспіль. Виявлено, що дерева природних місцезростань мають достовірно нижчі величини асиметрії листків, ніж дерева штучних насаджень.

**Ключові слова:** біоіндикація, стабільність розвитку, динаміка флуктуючої асиметрії, *Acer platanoides*.

## ВСТУП

Одним із найбільш простих, доступних та перспективних методів інтегральної оцінки якості навколишнього середовища є біоіндикація. Головна перевага біоіндикаційного підходу полягає в тому, що якість довкілля оцінюється за станом тих об'єктів, які безпосередньо та постійно перебувають у відповідному середовищі. До того ж, такий підхід дозволяє одночасно визначити дію як окремих шкодочинних чи сприятливих факторів, так і умов середовища існування в цілому. Також враховується констеляція факторів, яка спостерігається досить часто і модифікує вплив окремих чинників. Саме тому, біоіндикаційні методи є інтегральними.

Перспективним біоіндикаційним методологічним підходом є група методів оцінки якості довкілля за перебігом процесів стабільності індивідуального розвитку певних видів (біоіндикаторів). Зміст методу виявлення рівня стабільності (нестабільності) індивідуального розвитку особин деякого конкретного виду у певних (порушених, забруднених тощо) умовах середовища полягає у виявленні ступеню неспівпадання білатерально-симетричних морфологічних ознак особини (або її органу, для модулярних організмів). Тобто, досліджується сила прояву асиметрії. Зазвичай виділяють три типи асиметрії (Palmer, 1994) – напрямлену, антисиметрію та флуктуючу асиметрію. З позицій проведення біотестування інтерес представляє лише останній тип.

Термін «флуктуюча асиметрія» (*fluctuating asymmetry*) був запропонований Ван Валеном у 60-х роках минулого сторіччя (Van Valen, 1962), хоча пов'язаний з ним напрям досліджень стабільності розвитку (*developmental stability*) почав розвиватися значно раніше (Thoday, 1958, Waddington, 1957), а пізніше був спрямований на вивчення генетичних основ згаданих процесів (Lewontin, 1983, Mather, 1953, Zacharov, 1989, Palmer, 1992).

Стабільність розвитку особини проявляється у її здатності приймати «ідеальний» стан при відповідних (ідеальних) умовах розвитку (Zacharov, 1992). Ідеальний стан рідко зустрічається *a priori*. Однак, в ідеалі, білатеральні структури проявляють абсолютну симетрію, з якою можна порівнювати наявні відхилення (Palmer, 1986). Чим нижча стабільність, тим вища ймовірність того, що особина буде відхилитися від «ідеального» стану. Таким чином, з'являється можливість кількісної оцінки відхилень процесів розвитку від норми, а, отже, і відповідної оцінки якості середовища. Важливо, що за використання показників флуктуючої асиметрії можлива кількісна оцінка як стабільності розвитку окремих особин, так і цілих популяцій.

Вважається, що подібний підхід є чутливим і дозволяє виявляти негативні зміни до прояву виражених порушень будови чи функціонального стану особини (Zacharov, 1987, Palmer, 1986). Можливість використання флуктуючої асиметрії з метою біоіндикації успішно показана як для тваринних, так і для рослинних тест-об'єктів (Zacharov et al., 2000). Більшість видів тварин є білатерально симетричними, тому їх асиметричність визначається на рівні окремої особини та усереднюється для певної популяції. У вищих рослин для досліджень використовують білатерально симетричні органи (переважно листки), тому усереднені результати можливі як на рівні особини, так і на рівні популяції. Біотестування з використанням прояву флуктуючої асиметрії вищих рослин, на нашу думку, є більш перспективним в системі екологічного моніторингу. Переваги очевидні – чітка приуроченість тест-об'єкту до

місцезростання, а, отже, і до території досліджень, практично необмежений об'єм матеріалу, що дозволяє завжди отримувати репрезентативні вибірки, потреба у мінімальному обладнанні та незначні зусилля для збору матеріалу, можливість повторних досліджень однієї особини як протягом одного сезону, так і декількох років поспіль, дотримання принципів біоетики – дослідження без вилучення особин з популяції.

Переважає більшість наукових розробок, присвячених біоіндикації, стосується досліджень особливості біології та екології найбільш чутливих до забруднення видів рослин і тварин. Як наслідок, види-біоіндикатори першими зникають з угруповань та екосистем, що зазнають антропогенного впливу, тобто – стають раритетними. Одним з критеріїв «придатності – непридатності» певного виду для завдань біоіндикації та моніторингу є його поширення та трапляння. В Україні, особливо на урбанізованих територіях, які в першу чергу потребують ретельних біоіндикаційних досліджень, переважає більшість рідкісних та таких, що зникають, видів або дуже нечисельна, або відсутня. Саме тому для урбанізованого середовища пошуки «адекватних біоіндикаторів» мають бути спрямованими на фонові, тобто поширені види. Використання біоіндикації за показниками флуктуючої асиметрії в системі екомоніторингу дозволяє перейти від використання певних чутливих видів, трапляння достатньої кількості яких в антропогенно трансформованому середовищі є проблематичним, до використання в якості індикаторів фонових видів, які є в достатній кількості. До того ж, порівняння ступеню та характеру асиметрії теоретично можливе для будь-якого виду. Таким чином, флуктуючу асиметрію можна вважати своєрідним універсальним «екологічним термометром» на морфофізіологічному рівні, що дає змогу вимірювати оптимальність умов середовища для різних видів за єдиною методологічною схемою.

Явище флуктуючої асиметрії має багато аспектів. Найбільш фундаментально цікавими та важливими з позицій практичного використання, безумовно, є питання динаміки кількісних параметрів, що характеризують прояви асиметрії різноманітних біооб'єктів. Окрім чітко встановленого зростання флуктуючої асиметрії особин при погіршенні умов існування певного виду (Zacharov et al., 2000), є ряд питань, пов'язаних з динамікою асиметрії, вичерпна відповідь на які поки що відсутня. Переважає більшість узагальнень з приводу динаміки флуктуючої асиметрії судинних рослин була зроблена з використанням в якості об'єкту *Betula pendula* Roth. Для цього виду встановлено певні закономірності динаміки флуктуючої асиметрії в часі (багаторічна (Gavrikov, 2006) та сезонна динаміка (Aralbayeva et al., 2009)) та у просторі (географічна мінливість) (Zacharov, 2005).

Метою нашої роботи було вивчення стабільності процесів розвитку та виявлення закономірностей динаміки флуктуючої асиметрії модельного виду *Acer platanoides* L., який часто-густо трапляється в поліссі та лісостепу. Також, на відміну від *B. pendula*, він легко ідентифікується в польових умовах і не гібридує з іншими видами роду *Acer*, а, отже, є більш зручним об'єктом для біоіндикаційних досліджень.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі виявлення закономірностей динаміки флуктуючої асиметрії нами протягом трьох років (2011–2013 рр.) досліджувалися одні й ті самі дорослі дерева *A. platanoides* з восьми місцезростань м. Києва. Були охоплені як природні популяції клена гостролистого міських та приміських лісопаркових масивів, так і його штучні насадження на вулицях міста. Коротка характеристика географічного положення та екологічних умов досліджених місцезростань наведена у табл. 1.

Також з метою перевірки закономірностей динаміки показника флуктуючої асиметрії протягом сезону було проведено серію досліджень в урочищі Феофанія.

Таблиця 1

Характеристика місцезростань дерев *A. platanooides* на території м. Києва

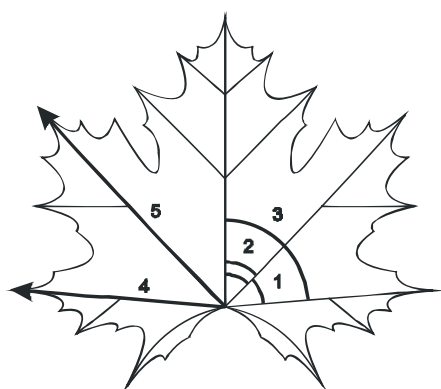
№	Місцезростання	Умове позначення	Координати	Коротка характеристика		
				Рослинність	Тип ґрунту	Антропогенне навантаження
1	урочище Феофанія	УФ	50°20'30" пн. ш. 30°29'40" сх. д.	Грабово-дубові угруповання	Сірі супіщані та легкоуглинкові ґрунти	Інтенсивне рекреаційне навантаження, відсутність автотранспорту
2	проспект Возз'єднання	ВП	50°43'98" пн. ш. 30°61'73" сх. д.	Штучні насадження вздовж дороги	Урбанозем	Висока транспортна завантаженість дороги
3	вулиця Івана Кудрі	КВ	50°41'66" пн. ш. 30°53'71" в. д.	Штучні насадження вздовж дороги	Урбанозем	Помірна транспортна завантаженість дороги
4	Голосіївський парк ім. М. Т. Рильського	ГП	50°23'25" пн. ш. 30°30'26" сх. д.	Кленово-грабові угруповання	Сірі супіщані та легкоуглинкові ґрунти	Інтенсивне рекреаційне навантаження
5	урочище Лиса Гора	ЛГ	50°23'42" пн. ш. 30°32'50" сх. д.	Грабово-дубові угруповання	Сірі супіщані та легкоуглинкові ґрунти	Інтенсивне рекреаційне навантаження
6	парк Пуща Водиця	ПВ	50°32'24" пн. ш. 30°20'33" сх. д.	Соєново-дубові угруповання	Піщані та супіщані ґрунти	Помірне рекреаційне навантаження
7	парк Сирецький Гай	СГ	50°47'73" пн. ш. 30°42'73" сх. д.	Кленово-грабові угруповання	Сірі супіщані та легкоуглинкові ґрунти	Низьке рекреаційне навантаження
8	Деснянський парк	ДП	50°30'26" пн. ш. 30°35'50" сх. д.	Штучні насадження	Урбанозем	Інтенсивне рекреаційне навантаження, помірна транспортна завантаженість дороги

У травні (безпосередньо після формування листків), червні та липні 2013 р. тричі було взято проби з 9 одних і тих самих дерев.

В кожному місцезростанні досліджували по 10 дерев. З нижньої частини крони кожного дерева з використанням телескопічного секатору зрізали по 30 листків. Для морфометрії використовували лише непошкоджені та малопошкоджені листки. Враховуючи тривалість безпосередніх морфометричних вимірювань, з одного боку, та здатність листків до певних змін розмірів під час зберігання, з іншого, нами, з метою підвищення точності досліджень, було прийнято рішення визначати морфометричні параметри на цифровому зображенні нижнього боку листка. Свіжозрізані листки одразу ж дигіталізували з використанням сканера HP Scanjet 200. Визначення морфометричних параметрів проводили з використанням програмного пакету CorelDRAW 12.

Для виявлення величини флуктуючої асиметрії для кожного листка визначали по 5 параметрів як з лівого, так і з правого боку (відносно центральної жилки). Схема листка *A. platanoides* та відповідні параметри, що визначалися нами для виявлення величини флуктуючої асиметрії, показано на рис. 1.

Величину флуктуючої асиметрії кожного параметра визначали як відношення подвоєного модуля різниці промірів з лівого та правого боку листкової пластинки до їх суми (Palmer, 1994). Для кожного листка, дерева та місцезростання окремо знаходили середнє арифметичне та визначали межі довірчого інтервалу ( $p=0,05$ ). Відсутність або наявність напрямленої асиметрії для кожного параметра в межах дерева оцінювали за середньою величиною різниці значень з обох боків листкової пластинки. Достовірність відмінностей дисперсій флуктуючої асиметрії оцінювали за величиною F-критерію Фішера ( $p=0,05$ ), а середніх значень – за величиною  $t_{st}$ -критерію Стьюдента ( $p=0,05$ ). Математичну та статистичну обробку емпіричних даних виконували у програмних пакетах Microsoft Office Excel 2003 та StatSoft Statistica 6.0.



1. Кут між проксимальною та дистальною бічними жилками першого порядку;
2. Кут між центральною та проксимальною бічною жилкою першого порядку;
3. Кут між центральною та дистальною бічною жилкою першого порядку;
4. Довжина дистальної бічної жилки першого порядку;
5. Довжина проксимальної бічної жилки першого порядку.

Рис. 1. Листок *A. platanoides* та параметри, що визначалися для виявлення величини флуктуючої асиметрії

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Обговорюючи проблеми вивчення динаміки флуктуючої асиметрії слід чітко виокремити певні типи динаміки, виявити відповідні закономірності динаміки та встановити їх можливі причини, визначити найбільш важливі з позицій проведення біоіндикаційних моніторингових досліджень наслідки.

Виявлення динаміки величини флуктуючої асиметрії протягом сезону позбавлене, на перший погляд, сенсу, оскільки процеси формування переважної більшості листків відбуваються швидко і завершуються ще на початку вегетації. Однак, декілька років тому в науковій літературі з'явилося повідомлення російських

дослідників (Aralbayeva et al., 2009) про існування певних коливань величини флуктуючої асиметрії листків *B. pendula* протягом сезону та наявності достовірних відмінностей між ними в червні – серпні в межах одного місцезростання. Незважаючи на те, що подібні результати погано узгоджуються з сучасними уявленнями про механізми порушення стабільності розвитку, нами було прийнято рішення щодо їх емпіричної перевірки.

Проведені нами дослідження сезонної динаміки величини флуктуючої асиметрії листків клену гостролистого виявили наявність незначних коливань значень цього показника протягом сезону, як в межах кожного окремого дерева, так і між 9 дослідженими деревами в межах одного місцезростання. Отримані результати наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Сезонна динаміка величини флуктуючої асиметрії (%) 9 дерев *A. platanoides* у ППСМ Феопанія**

Номер дерева	Величина та варіабельність флуктуючої асиметрії							
	травень		червень		липень		середнє за 3 місяці	
	<i>M±m</i>	CV	<i>M±m</i>	CV	<i>M±m</i>	CV	<i>M±m</i>	CV
1	5,42±0,79	0,41	4,50±0,62	0,38	4,84±0,67	0,38	4,92±0,53	0,39
2	5,36±0,68	0,36	5,12±0,78	0,43	5,85±0,97	0,45	5,44±0,42	0,41
3	8,23±1,49	0,50	7,24±1,18	0,45	7,29±0,96	0,35	7,59±0,63	0,43
4	7,66±1,04	0,38	6,06±1,01	0,47	6,27±1,24	0,55	6,67±0,99	0,47
5	7,27±1,29	0,48	7,63±1,19	0,44	7,47±1,4	0,52	7,46±0,20	0,48
6	7,98±1,17	0,40	7,49±1,41	0,53	7,00±1,01	0,40	7,49±0,56	0,44
7	7,67±1,26	0,46	6,99±1,14	0,46	7,06±1,06	0,41	7,24±0,42	0,44
8	7,64±1,51	0,54	9,42±1,34	0,38	6,72±1,13	0,47	7,92±1,55	0,47
9	5,32±0,61	0,31	6,17±0,86	0,39	7,01±0,93	0,36	6,17±0,96	0,35
середнє по парку	6,95±0,75	0,43	6,73±0,91	0,43	6,61±0,52	0,43	6,77±0,19	0,43

Достовірність відмінностей значень величини флуктуючої асиметрії в травні – липні, як в межах кожного дерева, так і між деревами була оцінена нами з використанням критерію Стюдента ( $p=0,05$ ). Усі відмінності виявилися не достовірними. Для окремих дерев спостерігаються незначні коливання величини асиметрії протягом сезону в обидва боки. Середня величина асиметрії, навпаки, демонструє чітку, хоча і недостовірну, тенденцію до зменшення. При цьому середньомісячна концентрація забруднюючих речовин атмосферного повітря м. Києва у 2013 р., за даними центральної геофізичної обсерваторії (Schomisyachniy byuletен zabrudnennyya atmosfernogo povitrya, 2013), протягом сезону, навпаки, підвищується.

Помічена нами тенденція до зниження величини асиметрії протягом вегетативного сезону гіпотетично може бути пояснена дією природнього добору. Припущення про те, що більш асиметричні листки є менш пристосованими, сприймається цілком логічно. Тоді ймовірність втрати рослиною подібного листка або його пошкодження фітофільними комахами підвищується. Таким чином, якщо протягом сезону найбільш асиметричні листки втрачаються, то частка сильно асиметричних листків має поступово зменшуватися. Чим довше відбувається подібний процес, тим меншою, відповідно, стає середня величина флуктуючої асиметрії. Висловлена гіпотеза має право на існування, однак вона погано узгоджується з даними щодо варіабельності величини флуктуючої асиметрії. В розглянутому нами гіпотетичному випадку дія добору має бути стабілізуючою. Стабілізуючий добір завжди зменшує варіабельність. А за результатами наших конкретних досліджень варіабельність асиметрії практично не змінюється. Отже, гіпотезу про дію добору в бік зменшення асиметрії слід відкинути.

Підводячи підсумок, слід зазначити, що отримані нами результати емпірично підтвердили відсутність достовірних змін флуктуючої асиметрії листків клену з одного і того ж місцезростання протягом сезону. Протилежні результати, отримані нашими північно-східними колегами (Aralbayeva et al., 2009), найбільш вірогідно пов'язані з певними методичними прорахунками – недостатній об'єм вибірки, неточності при морфометрії тощо. При проведенні моніторингових досліджень з використанням в якості індикатора величини флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* терміни пробовідбору протягом вегетативного сезону на результати не впливають.

Наступним важливим моментом наших досліджень було виявлення основних закономірностей динаміки величини флуктуючої асиметрії листків клену гостролистого в межах одного місцезростання протягом декількох років. За результатами досліджень кожного року достовірних відмінностей величини флуктуючої асиметрії як в межах окремого дерева, так і в межах певного місцезростання нами виявлено не було. Дисперсія напрямленої асиметрії в усіх випадках не перевищувала 5 %, тому при подальших розрахунках, відповідно до методичних вказівок (Zakharov et al., 2000), вона не враховувалась.

Отримані впродовж трьох років величини флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* різних місцезростань проявили певну динаміку (рис. 2). Значення величини флуктуючої асиметрії листків дерев *A. platanoides* протягом усіх трьох років коливалися у досить вузькому проміжку – 6–8 %, а тенденція зміни значень величини виявилася відмінною для різних місцезростань.

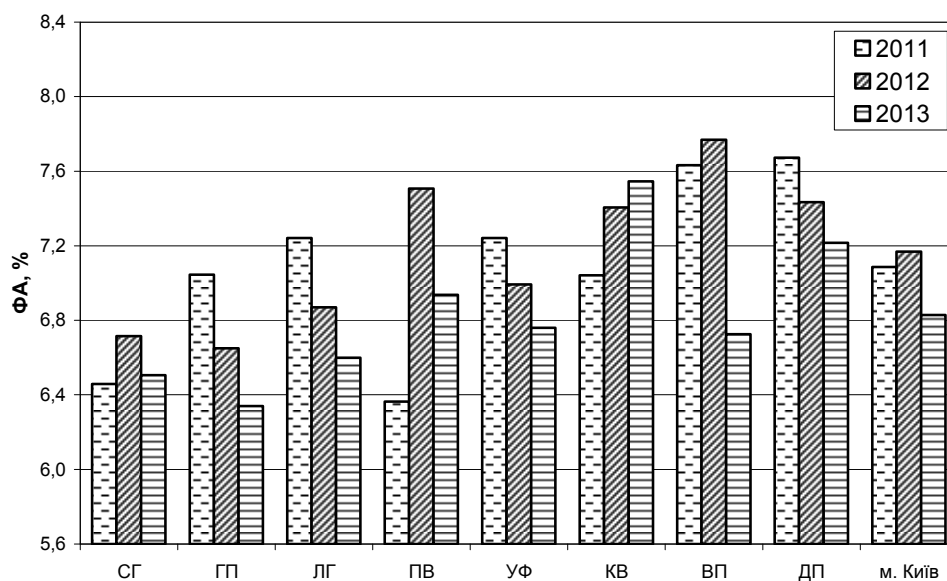


Рис. 2. Значення показника флуктуючої асиметрії листків дерев *A. platanoides* досліджених місцезростань м. Києва у 2011–2013 рр. (умовні позначення місцезростань відповідають табл. 1)

Для чотирьох з восьми місцезростань (урочище Феофанія, урочище Лиса гора, Голосіївський парк, Деснянський парк) величина флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* поступово знижується за період досліджень, для трьох місцезростань найвищі значення було зафіксовано у 2012 р., і лише одне місцезростання (вул. Івана Кудрі) виявило чітку тенденцію до зростання асиметрії за період. У семи місцезростаннях з восьми величина флуктуючої асиметрії у 2013 р. виявилася



нижчою, ніж у 2012 р. Усереднені по всьому місту величини флуктуючої асиметрії також свідчать про незначне зниження величини асиметрії у 2013 р. в порівнянні з попередніми роками.

Відмінності між величинами флуктуючої асиметрії листків клену гостролистого в межах одних і тих самих місцезростань у переважній більшості випадків виявилися недостовірними. Достовірно (за  $t_{st}$ -критерієм Стьюдента, при  $p=0,05$ ) відрізняються значення величини флуктуючої асиметрії в Пущі Водиці (2011–2012 рр.) та на пр. Возз'єднання (2011–2013 рр. та 2012–2013 рр.).

У сезоні 2011 р. найвищі значення флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* на рівні 7,6–7,7 % зафіксовані нами у місцезростаннях на лівому березі Дніпра – пр. Возз'єднання та Деснянський парк. Найнижчі значення флуктуючої асиметрії – 6,4–6,5 % мали дерева з місцезростань Пуща Водиця та Сирецький гай (північно-західна частина правобережжя). Відмінності між величинами асиметрії рослин згаданих місцезростань, що, відповідно, мають максимальні та мінімальні значення, є достовірними (за  $t_{st}$ -критерієм Стьюдента, при  $p=0,05$ ). Також достовірно вища флуктуюча асиметрія листків *A. platanoides* пр. Возз'єднання у порівнянні з деревами місцезростань вул. І. Кудрі та урочища Лиса гора, а дерев з урочища Феофанія - по відношенню до дерев з Пущі Водиці та Сирецького гаю.

У 2012 р. динаміка флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* з різних місцезростань м. Києва суттєво не змінилася – для половини місцезростань виявлено збільшення, а для половини зменшення досліджуваних показників. Найвищі значення флуктуючої асиметрії на рівні 7,4–7,8 % були зафіксовані, так само як і у попередньому році, на пр. Возз'єднання та у Деснянському парку, а також на вул. І. Кудрі та у Пущі Водиці. Всі ці значення достовірно вищі за величини флуктуючої асиметрії дерев Сирецького гаю та Голосіївського парку, що, відповідно, виявив найнижчий рівень флуктуючої асиметрії 6,7 %. Флуктуюча асиметрія решти місцезростань між собою достовірно не відрізнялася.

За результатами досліджень 2013 р. нами було виявлено зниження рівня флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* усіх місцезростань, окрім вул. І. Кудрі. До того ж дерева цього місцезростання мали найвищий рівень досліджуваного показника – 7,5 %. Трохи нижчі значення флуктуючої асиметрії були виявлені в Деснянському парку. Показники величини флуктуючої асиметрії кленів цих двох місцезростань достовірно відрізняються від показників дерев з місцезростань Лиса гора (6,6 %), Сирецький гай (6,5 %), Голосіївський парк (6,3 %).

Виявлені відмінності величини флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* досліджених місцезростань у різні роки демонструють певну динаміку, яку важко охарактеризувати загалом. Основних факторів, які, на нашу думку, зумовлюють згадану динаміку, є три. По-перше, це мікрокліматичні особливості певних місцезростань, з яких головними є температура та вологість ґрунту. Врахувати їх, не маючи відповідних стаціонарних пунктів, практично неможливо. По-друге, дерева міських місцезростань (пр. Возз'єднання, Деснянський парк та вул. І. Кудрі), на відміну від рослин парків, знаходяться поряд з автодорогами з різною і часто високою інтенсивністю руху транспорту, викиди якого локально збільшують забруднення атмосферного повітря. Згадане забруднення досить динамічне, погано передбачуване та також таке, що важко врахувати. Величини флуктуючої асиметрії дерев місцезростань Голосіївський парк, Сирецький гай, урочищ Феофанія та Лиса гора мають значення, що протягом трьох сезонів коливалися менш суттєво. Для даних місцезростань характерне рекреаційне навантаження різного рівня та відсутність інтенсивного автотрафіку. Третім важливим моментом динаміки, що спостерігається, є статистична невизначеність, яка пов'язана зі стохастичною природою явища флуктуючої асиметрії.

З вищевикладеного можна дійти висновку щодо необхідності певного узагальнення результатів, отриманих протягом трьох років. Найпростішим

узагальненням, на нашу думку, є підрахунок середнього за три роки значення величини флюктууючої асиметрії листків *A. platanoides* по кожному з досліджених місцезростань та порівняння відповідних результатів. Усереднені за три роки значення величини флюктууючої асиметрії листків *A. platanoides* досліджених місцезростань представлені на рис. 3.

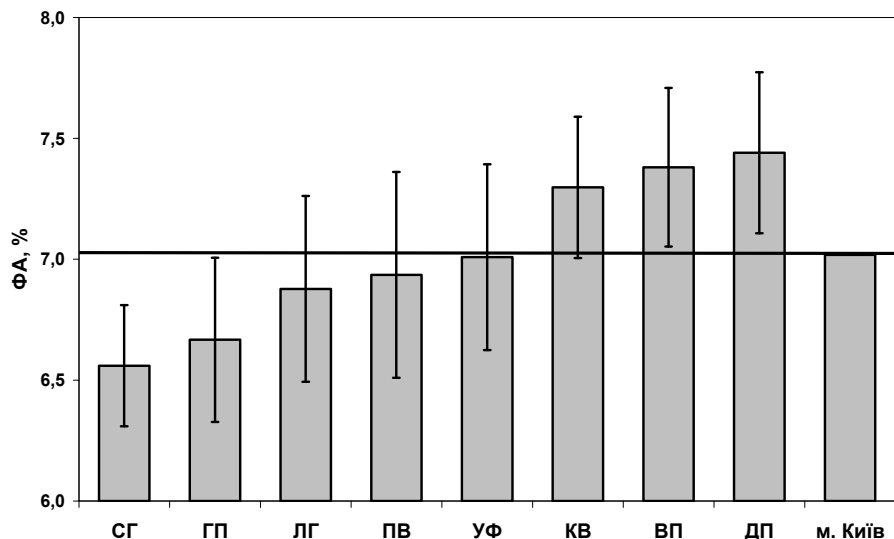


Рис. 3. Величини усереднених за три роки значень величини флюктууючої асиметрії листків *A. platanoides* досліджених місцезростань (умовні позначення відповідають табл. 1)

Аналізуючи діаграму, представлену на рис. 3, слід зазначити, що на відміну від діаграми рис. 2, узагальнююча картина щодо процесів стабільності розвитку листків *A. platanoides*, що ростуть на території м. Києва, стає більш чіткою. Усереднені значення величини флюктууючої асиметрії дерев місцезростань Деснянський парк та пр. Возз'єднання достовірно перевищують середні значення по місту, близьку величину має також показник рослин з вул. І. Кудрі. Усереднені значення величини асиметрії рослин місцезростань Сирецький Гай та Голосіївський парк, навпаки, виявилися достовірно нижчими за середню для міста величину. Близькі значення до середньої величини виявили клени з Пущі Водиці, урочищ Феофанія та Лиса гора.

Таким чином, після процедури усереднення розподіл отриманих нами значень величини флюктууючої асиметрії листків *A. platanoides* став цілком логічним. Найвищі значення асиметрії листків клена, що відповідають найменш стабільним процесам розвитку рослин, виявилися на територіях, що мають максимальний рівень урбанізації. Важливо також, що всі ці місцезростання є штучними насадженнями. Решта досліджених місцезростань, навпроти, є похідними природних деревостанів. Для них також спостерігається цікава тенденція. Деревостани Сирецького гаю та Голосіївського парку, на відміну від деревостанів урочищ Лиса гора та Феофанія, мають домінуючим видом саме *A. platanoides*. Іншими словами, у місцях, де вид домінує, умови його розвитку мають бути найбільш сприятливими, тобто такими, що дають йому можливість домінувати. Отримані нами результати демонструють також і найвищу стабільність процесів розвитку листків клену за таких умов. Це дозволяє висловити гіпотезу, що ценотичне процвітання певного виду та стабільність індивідуального розвитку його особин є пов'язаними процесами. Висунута гіпотеза, безумовно, потребує перевірки та подальших ретельних досліджень. Однак, ми вважаємо, що при проведенні моніторингових досліджень контрольну групу рослин слід завжди обирати з урахуванням максимального домінування виду індикатора.

## ВИСНОВКИ

Підводячи підсумок проведених досліджень щодо динаміки флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* різних місцезростань м. Києва, слід зазначити наступне:

1. Динаміка величини флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* в межах окремого дерева незначна, достатній розмір виборки – 30 листків.
2. Величина флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* в межах окремого місцезростання протягом сезону суттєво не змінюється, пробовідбір можна проводити як на початку, так і наприкінці вегетативного сезону.
3. Величина флуктуючої асиметрії листків *A. platanoides* в межах окремого місцезростання протягом трьох років змінюється непередбачувано, тому для достовірних результатів моніторинг слід проводити протягом декількох років поспіль.
4. Величини флуктуючої асиметрії дерев природних місцезростань достовірно нижчі, ніж дерев штучних насаджень, при проведенні моніторингових досліджень контрольну групу рослин слід обирати в природних деревостанах з урахуванням максимального домінування відповідного виду індикатора.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Aralbayeva, L. S., Urazgildin, R. V., Kulagin, A. Yu., 2009.** Otsenka odnositelnogo zhiznennogo sostoyaniya i stabilnosti razvitiya berezyi povisloy (*Betula pendula* Roth.) goroda Salavat [Assessment of relative living conditions and stability of the drooping birch (*Betula pendula* Roth.) development in the city of Salavat]. Vestnik OSU. 6, 39–42 (in Russian).
- Gavrikov, D. E., Baranov, S. G., 2006.** Metodika otsenki stabilnosti razvitiya na primere berezyi (*Betula pendula*) [The technique of an estimation of developmental stability on the example of the birch (*Betula pendula*)]. Bulletin ESSC SB RAMS. 2, 13–17 (in Russian).
- Lewontin, R. C., 1983.** Gene, organisms and environment. Bendall DS (ed) Evolution from molecules to men. Cambridge Univ. Press, New York, NY. 273–285.
- Mather, K., 1953.** Genetical control of stability in development. Heredity. 7, 297–336.
- Palmer, A. R., 1994.** Fluctuating asymmetry analyses: A primer. Developmental instability: its origins and evolutionary implications. 335–364.
- Palmer, A. R., Strobeck, C., 1986.** Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17, 391–421.
- Palmer, A. R., Strobeck, C., 1992.** Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: Implications of non-normal distributions and power of statistical tests. Acta Zool. Fenn. 191, 57–72.
- Schomisyachniy byuleten zabrudnennya atmosfernogo povitrya [Monthly bulletin of atmospheric air pollution], 2013. Kyiv (in Ukrainian).
- Thoday, J. M., 1958.** Homeostasis in a selection experiment. Heredity. 12, 401–415.
- Van Valen, L., 1962.** A study of fluctuating asymmetry. Evolution. 16, 125–141.
- Waddington, C. H., 1957.** The strategy of gene. London: Allen and Unwin.
- Zakharov, V. M., 1987.** Asimetriya zhivotnykh [Asymmetry of animals]. Moscow, Nauka (in Russian).
- Zakharov, V. M., 1989.** Future Prospects for Population Phenogenetics. Sov. Sci. Rev. F. Physiol. Gen. Biol. 4, 1–79.
- Zakharov, V. M., Baranov, A. S., Borisov, V. I., Valetskiy, A. V., Kryazheva, N. G., Chistyakova, E. K., Chubinishvili, A. T., 2000.** Zdorove sredy: metodika otsenki [The health of the environment: methods of assessment]. Moscow. Center for Russian Environmental Policy (in Russian).
- Zakharov, V. M., Graham, J. H., 1992.** Developmental stability in natural populations. Acta Zoologica Fennica. 191, 85–101.
- Zakharov, V. M., Shkil, F. N., Kryazheva, N. G., 2005.** Otsenka stabilnosti razvitiya berezyi v raznykh chastyakh areala [Assessment of developmental stability of birch in different parts of the area]. Vestnik of UNN “Biology”. 1, 77–84 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 24.06.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. І. О. Зайцева