

**Г. В. ФЕДОРОВА**, канд. хим. наук, доцент, **Ю. Н. ШАЛОУМОВ**

*Одесский государственный экологический университет*

*ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016*

e-mail: [fedogalavl@gmail.com](mailto:fedogalavl@gmail.com); shaloumov\_yuri@mail.ua

### **Использование биоиндикационного метода флуктуирующей асимметрии листа клена остролистного (*acer platanoides l.*) для оценки качества среды населенных пунктов**

**Цель.** Оценка качества среды по нарушению билатеральной симметрии листа клена остролистного и возникновению флуктуирующей асимметрии сторон листа относительно центральной жилки под влиянием антропогенной нагрузки. Анализ известных систем оценки состояния среды. **Методы.** Фитоиндикация как один из методов биоиндикации с использованием в качестве биоиндикаторов растений (листьев клена). Метод флуктуирующей асимметрии: измерения 4-х параметров листа с левой и правой сторон и фиксация формы макушки. Математическая обработка результатов всех измерений (1376 промеров) на базе программы Microsoft Excel. **Результаты.** Осуществлена статистическая оценка промеров листьев по 7 показателям мер центральной тенденции и изменчивости. Рассчитан показатель флуктуирующей асимметрии для биоматериала всех исследованных площадок шести районов г. Одеса в летний период 2016 г. и произведена их проверка на нормальное распределение. Установлено качество среды разных районов курортного города и загородной зоны по двум балльным системам. **Выводы.** Статистическая обработка всех промеров листовых пластинок показала пригодность использования измеряемых признаков и самого листа клена для целей фитоиндикации. Показана обоснованность использования балльной системы Г. М. Мелькумова при определении качества среды по интегральному показателю флуктуирующей асимметрии листа клена остролистного. Фактически, промышленные зоны города, его парковая и центральная части имеют одинаково высокую степень загрязнения, хотя и не достигающую критического уровня.

**Ключевые слова:** биоиндикатор, фитоиндикация, деформация, стресс, билатеральная симметрия, интегральный показатель асимметричности, статистическая обработка, антропогенное загрязнение.

**Fedorova G. V., Shaloumov Yu. N.**

*Odessa State Environmental University*

#### **Use of the bioindication method of fluctuating asymmetry of the maple leaf (*acer platanoides l.*) for assessing the quality of the environment in the populated areas**

Such natural sciences as biology, biogeochemistry, ecology and geobotany study and use bioindication. It is a modern new and helpful scientific direction. The methodology of fluctuating asymmetry worked out in the framework of phytoindication is a convenient, cheap and the closest to natural objects tool for studying of macroscopic changes in the development of bioobjects owing to the negative natural and anthropogenic stress effects.

**Purpose.** Evaluation of the quality of the environment on the violation of the bilateral symmetry of the maple leaf and the appearance of a fluctuating asymmetry of the sides of the leaf's sheet relative to the central vein under the influence of the anthropogenic load. Analysis of well-known evaluation systems for assessing the quality of the environment. **Methods.** Phytoindication as one of the bioindication methods with using plants (maple leaves). The fluctuating asymmetry method: measuring 4 parameters on the left and right sides of a leaf and defining of the form of a leaf top. Mathematical processing of the results of all measurements (1376 measures) based on the Microsoft Excel program. **Results.** A statistical evaluation of the leaf measures was made for 7 indices of the central tendency and variability. The fluctuation asymmetry index for the biomaterial of all the investigated sites of six districts in Odessa in the summer period of 2016 was calculated and tested for normal distribution. The quality of the environment is determined using two point systems in the different areas of the resort city and the suburb. **Conclusions.** Statistical processing of all platelet measurements showed the suitability of using the measured features and the maple leaf itself for the purpose of phytoindication. A greater validity of the G.M. Melkumov's point system was shown when determining the quality of the environment by the integral fluctuation asymmetry index of the maple leaf. In fact, the industrial zones of the city, its park and central parts have a high degree of pollution, although not reaching a critical level.

**Key words:** bioindicator, phytoindication, deformation, stress, bilateral symmetry, integral index of asymmetry, statistical treatment, anthropogenic pollution.

**Федорова Г. В., Шалоумов Ю. М.**

*Одеський державний екологічний університет*

#### **Використання біоіндикаційного метода флуктуючої асиметрії листя клена гостролистого (*acer platanoides l.*) для оцінки якості середовища населених пунктів**

**Мета.** Оцінка якості середовища за станом листа клена гостролистого через фіксування порушень його билатеральної симетрії та деформаційних змін. Аналіз відомих систем оцінки стану навколишнього середовища. **Методи.** Фітоіндикація як один з методів біоіндикації з використанням як біоіндикаторів рослин (листя клена). Метод флуктуючої асиметрії: вимірювання 4-х параметрів листка з лівого та правого боків і визначення форми верхівки листя. Математична обробка результатів всіх вимірювань (1376 промірів) на базі програми Microsoft

Excel. **Результати.** Проведено статистичну оцінку вимірювань за 7-а показниками мір центральної тенденції та мінливості. Розраховано показники флуктуючої асиметрії для біоматеріалу всіх досліджених майданчиків шести районів м. Одеса у літній період 2016 р. та проведено їх перевірку на нормальний розподіл. За двома бальними системами встановлено якість середовища різних районів курортного міста та його загородної зони. **Висновки.** Статистична обробка промірів листової пластинки встановила придатність використання вимірюваних ознак і самого листа клена для цілій фітоіндикації. Оцінку якості середовища проводили за двома бальними системами. Показана обґрунтованість бальної системи Г. М. Мелькумова при визначенні якості середовища за інтегральним показником флуктуючої асиметрії листа клена гостролистого. Фактично, промислові зони міста, його паркова і центральна частини мають високий ступінь забруднення, хоча не сягають критичного рівня.

**Ключові слова:** біоіндикатор, фітоіндикація, деформація, стрес, білатеральна симетрія, інтегральний показник асиметричності, статистична обробка, антропогенне забруднення.

## *Введение*

Одним из разделов современной биогеохимии [1] является научное направление – биоиндикация. Проблемы биоиндикации изучают также биология и экология. Все эти науки объединяет проблема качества среды обитания, биоиндикаторами которой, несущими значительную антропогенную нагрузку, являются древесные растения. Использование такого органа ассимиляции, как лист с его динамичным откликом на загрязнение среды и метода флуктуирующей асимметрии дает возможность с минимальными затратами, достаточно быстро оценить качество среды населенных пунктов или отдельных районов мегаполисов.

С момента своего зарождения еще до нашей эры в трудах Теофраста, Л. Ю. Колумелы, М. Катона, Плиния Старшего, последующих работ М. В. Ломоносова, А. Гумбольдта, А. Штекхарда в XVIII и XIX вв. биоиндикация определялась как оценка состояния окружающей среды по реакциям живых организмов. Термин «биоиндикация» и обоснование ее сути как научного направления были даны А. П. Карпинским. Одним из направлений геоботаники биоиндикацию рассматривали на рубеже XIX и XX вв. А. Н. Краснов и Р. И. Аболин. В конце XX в. биоиндикация толковалась как изменение параметров состояния или выходных параметров биологических систем [2]. До недавнего времени биоиндикацию считали биологическим методом обнаружения и определения экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов непосредственно в среде их обитания [3]. В 2012 г. биоиндикацию назвали наукой, сформировавшейся в границах экологии [4]. Вышеизложенное свидетельствует об актуальности биоиндикационной тематики в биогеохимии и смежных науках, непрерывном развитии и совершенствовании методов биоиндикации, ее определений и терминологии.

Одним из видов биоиндикации является фитоиндикация, использующая растения в качестве биоиндикаторов. Для характеристики экологического состояния больших территорий мегаполисов наиболее пригодны древесные растения; при выборе анализируемого органа деревьев и для оценки его состояния преимущество отдается листу, билатеральная симметрия которого в идеале характеризует благополучные условия произрастания, а её нарушения с проявлением асимметрии – ухудшение состояния среды.

Среди существующих видов асимметрии под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии [5]. Различия между левой и правой частями органов живого организма при проявлении ФА не являются генетически детерминированными и не могут быть случайными, а возникают вследствие негативных природных или антропогенных стрессовых воздействий на живой объект. Именно эта взаимосвязь и позволяет использовать ФА как доступное для анализа проявление отклика живого организма на стресс.

*Целью* исследования является контроль состояния среды как многокомпонентной системы с причинно-следственной связью нарушений симметрии листа клена методом ФА.

В основу *задач* исследования легли количественная оценка биометрических показателей и статистическая обработка данных.

## *Объекты и методы исследования*

*Макрообъектом* исследования является экологическая обстановка в городе-курорте Одесса, в качестве *микрообъекта* использовали биоиндикатор – лист клена остролистного. Время сбора биоматериала: летний сезон 2016 г.

*Методика и материалы исследования, районы мониторинга и оборудование.* Применение в биоиндикации метода ФА по пластическим признакам для контроля стабильности развития растений

с переносом оценки их состояния на среду обитания позволило выработать методику [6], используемую в данной работе.

В процессе мониторинга в разных районах г. Одесса были собраны листья, распространенного на юге Украины клена остролистного (*Acer platanoides* L.), использование которого в качестве биоиндикатора описано недостаточно полно и противоречиво [7, 8]. Выбор клена также объясняется его характерным листом специфической формы с билатеральной симметрией и четко выраженными признаками вида. Сбор листьев проводился после остановки их роста и достижения генеративного возрастного состояния в конце летнего сезона. Листья собирались с деревьев, растущих на площадках одного грунта и одинаковой влажности с одинаковыми условиями освещенности солнцем, равноудаленных от предполагаемого источника загрязнения. В основном это были открытые площадки с несколькими видами деревьев, в т. ч. и кленов. Выбор площадок проводился с целью исключения снижения стабильности развития деревьев из-за негативных природных условий затенения светлюбивого клена. Таким образом, выбор площадок в значительной степени нивелировал возможность влияния естественных стрессовых факторов на развитие листа и его симметрию. На площадках сбор листьев в количестве 10-14 штук осуществлялся с 1-4-х деревьев на каждой площадке.

Листья собирались с укороченных побегов с разных сторон дерева с нижних веток нижней части кроны, чтобы исключить погрешности нарушения развития, связанные с разными стадиями роста этих органов. К сожалению, с высоких деревьев не всегда удавалось достать листья одного размера, что и явилось причиной большого размаха вариации признаков.

Площадки сбора исследуемого материала выбраны в 6 районах города с учетом их предполагаемого загрязнения или его отсутствия: 1) парк им. Т. Г. Шевченко, 50 м от центрального входа с ул. Канатной с интенсивным автомобильным движением; 2) жилой массив в тихом центре по ул. Комитетская вблизи автостоянок и парковки машин; 3) центр города с непрерывным автотранспортным потоком, ул. Ришельевская; 4) цементный завод (посадка у главного входа и окружающая жилая территория); 5) НПЗ – нефтеперерабатывающий завод (главный вход и территория жилых домов); 6) загородная зона (отель-автокемпинг «Затерянный рай», 20 км от Одессы по Киевской трассе).

Для измерения признаков использовали линейку, циркуль, транспортир.

### **Результаты и их обсуждение**

Системой признаков листа клена была выбрана совокупность промеров, рекомендованных [9], характеризующих морфологические особенности листьев с билатеральной симметрией. Промеры снимали с левой (*L*) и правой (*R*) сторон листа по 4 параметрам и фиксировали загиб макушки листа (влево, вправо), ее прямолинейность или раздвоенность.

Измерения правой и левой сторон листьев проводились по таким параметрам: 1) ширина половинок листа слева и справа после сгиба листа пополам; 2) длина 2-ой жилки 2-го порядка слева и справа; 3) расстояние между концами 1-ой и 2-ой жилок 2-го порядка слева и справа; 4) угол между центральной и 2-ой жилкой 2-го порядка слева и справа.

Математическая обработка результатов всех измерений (1376 промеров) проводилась на базе программы Microsoft Excel.

Оценка асимметрии листьев клена осуществлялась в выборке по величине показателя флуктуирующей асимметрии (*FA*), который характеризует степень нарушения развития листовой пластинки и соответствует 5-балльной шкале, оценивающей экологическое состояние среды произрастания для березы повислой [6, 9], рекомендованной авторами и для других видов деревьев, в т. ч. и для клена остролистного, и шкале, предложенной [8] непосредственно для клена (табл. 1).

ФА оценивали по общепринятому методу – расчету интегрального показателя флуктуирующей асимметрии (*FA*) по величине среднего относительного различия между левой (*L<sub>ij</sub>*) и правой (*R<sub>ij</sub>*) сторонами листовой пластины на признак (*m* = 4) для каждого листа и всей выборки (*n*) для всех площадок сбора биоматериала каждого из шести выбранных районов города:

$$FA = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{|L_{ij} - R_{ij}|}{L_{ij} + R_{ij}}.$$

Расчет показателей *FA* осуществлялся с помощью программы Microsoft Excel.

**Балльные системы качества среды произрастания растений по интегральному показателю флуктуирующей асимметрии высших растений**

Баллы качества среды обитания [5, 8]	Показатель флуктуирующей асимметрии	Баллы качества среды [7]	Показатель флуктуирующей асимметрии
1 чисто	< 0,04	1 условная норма	< 0,015
2 относительно чисто (норма)	0,04 – 0,044	2	0,016 – 0,025
3 загрязнено (тревога)	0,045 – 0,049	3	0,026 – 0,035
4 грязно (опасно)	0,05 – 0,054	4	0,036 – 0,045
5 очень грязно (вредно)	> 0,054	5	0,046 – 0,055
		Критическое состояние	> 0,056

По внешнему виду все листья имели не только нарушения билатеральной симметрии, но и деформационные изменения листовой пластинки – отклонения от прямой макушки (см. табл. 2); листья с площадки №4 были покрыты цементной пылью и иссушены; на поверхности листьев площадки №5 имелись пятнистые некрозы, а при гербарировании на бумаге оставались темные отпечатки.

Наименьшие отклонения от прямой макушки имели образцы листьев загородной площадки №6 и тихого центра №2.

**Таблица 2**

**Нарушения прямой верхушки листьев клена**

№1 Парк им. Шевченко	№2 Тихий центр ул. Комитетская	№3 Центр ул. Ришельевская	№4 Цементный завод	№5 НПЗ	№6 Загородная зона
52,8 %	10 %	24,2%	36,6 %	30,4 %	15,3 %

Статистическую обработку промеров листовых пластинок осуществляли по таким показателям мер центральной тенденции и изменчивости, как среднее арифметическое значение каждого показателя слева и справа для всех выборок  $\bar{x}$ ; размах вариации ( $x_{max} - x_{min}$ ); отклонение каждого промера слева и справа от среднего; дисперсия ( $D$ ); стандартное отклонение (среднее квадратическое)  $s$ ; стандартное отклонение среднего результата  $s_{\bar{x}}$  [10, 11]. Коэффициент осцилляции  $K_o$  и коэффициент вариации  $V_o$  рассчитывали по формулам:

$$K_o = R/\bar{x} \text{ и } V_o = (s/\bar{x}) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Коэффициент осцилляции  $K_o$  характеризует колебание крайних значений каждого признака вокруг среднего арифметического значения.

Расчет  $V_o$ , продиктован необходимостью установления соответствия выбранной методики ФА для клена как биоиндикатора среды действительному состоянию условий его произрастания. Безразмерность этой статистической характеристики позволяет сравнивать варьирование несоизмеримых вариационных рядов. Индивидуальную изменчивость признаков устанавливали по разработанной С. А. Мамаевым [12] эмпирической шкале оценки уровней изменчивости признаков древесных растений по их коэффициентам вариации. Совокупность с  $V_o > 35 \text{ \%}$  принято считать неоднородной, чем меньше  $V_o$ , тем однороднее совокупность по изучаемому признаку. Результаты расчетов показали, что по всем признакам в 6 исследуемых районах с учетом всех площадок сбора листьев в целом уровни изменчивости находились в диапазоне от низких до повышенных и не достигали высокого (31-40 %) и очень высокого уровня (> 40 %). Высокий уровень изменчивости наблюдался только в двух случаях промеров: ширины листовой пластинки клена ( $L$  и  $R$ ) на ул. Ришельевской и расстояния между концами 1-ой и 2-ой жилок 2-го порядка ( $L$  и  $R$ ) площадки НПЗ

(табл. 3), однако и он не достигал критического 40 %, что указывает на применимость и практическую ценность вида клен остролистный как биоиндикатора и правомочность использования методики ФА для клена при оценке качества городского воздуха.

По всем мерным признакам установлены средние и повышенные уровни изменчивости, соответствующие коэффициентам вариации в диапазонах 13–20% и 21–30 %, соответственно.

Низкий уровень изменчивости (8-12 %) зафиксирован также в двух случаях промеров признака 4: листьев парковой зоны (*L* и *R*) и тихого центра, ул. Комитетская (*R*).

Таблица 3

Статистическая оценка результатов промеров листа клена остролистного

Площадка сбора листьев	Параметр	Признак							
		№1 Ширина половинки пластины листа		№2 Длина 2-й жилки		№3 Отрезок между 1-й и 2-й жилками		№4 Угол между 1-й и центральной жилками	
		<i>L</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>R</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№1 Парк им. Шевченко	$(x_{max} - x_{min})$ – размах вариации	4,7	5,3	9,2	6,6	4,5	5,4	16	13
	$\bar{x}$ – среднее значение признака,	7,29	7,33	11,8	12,0	7,96	7,94	38,02	36,8
	$s^2$ – дисперсия	1,41	1,63	5,35	3,22	1,60	1,37	13,91	9,47
	$s$ – среднее стандартное отклонение	1,19	1,28	2,31	1,79	1,26	1,17	3,73	3,08
	$s_{\bar{x}}$ – стандартное отклонение среднего значения	0,20	0,22	0,39	0,31	0,22	0,20	0,61	0,51
	$K_o$ – коэффициент осцилляции	0,64	0,70	0,78	0,55	0,56	0,68	0,42	0,45
	$V_o, \%$ – коэффициент вариации	16,3	17,5	19,5	14,9	15,9	14,7	9,67	8,36
№2 Тихий центр	$(x_{max} - x_{min})$	3,2	2,8	4,6	3,7	4,9	3,5	18,0	14,0
	$\bar{x}$	6,94	6,76	11,2	11,0	7,94	7,33	40,30	39,9
	$s^2$	1,59	1,21	3,60	3,18	2,31	1,49	29,79	17,2
	$s$	1,26	1,10	1,89	1,78	1,52	1,22	5,46	4,15
	$S_{\bar{x}}$	0,39	0,35	0,60	0,56	0,51	0,41	1,72	1,31
	$K_o$	0,46	0,41	0,41	0,34	0,62	0,48	0,45	0,35
	$V_o, \%$	18,2	16,3	16,9	16,2	19,1	16,6	13,55	10,4
№3 Центр ул. Ришельевская	$(x_{max} - x_{min})$	5,9	5,6	8,0	10,9	6,3	6,0	38	36
	$\bar{x}$	6,98	6,96	11,3	11,2	7,48	7,2	47,4	44,2
	$s^2$	7,79	6,62	6,67	6,49	2,79	3,11	94,72	85,8
	$s$	2,79	2,57	2,58	2,55	1,67	1,76	9,73	9,26
	$s_{\bar{x}}$	0,49	0,46	0,46	0,46	0,30	0,32	1,70	1,61
	$K_o$	0,84	0,81	0,71	0,97	0,84	0,83	0,80	0,81
	$V_o, \%$	39,8	36,9	22,8	23,1	22,8	24,9	20,8	21,3

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№4 Цементный завод	$(x_{max} - x_{min})$	6,5	6,7	7,1	7,5	2,8	4,7	32	34
	$\bar{x}$	6,73	6,52	9,73	9,77	6,25	6,23	45,49	43,6
	$s^2$	2,77	2,28	2,97	3,08	10,3	1,49	76,81	53,6
	$s$	1,66	1,51	1,72	1,75	1,01	1,22	8,76	7,32
	$s_{\bar{x}}$	0,26	0,23	0,27	0,27	0,19	0,24	1,338	1,11
	$K_o$	0,83	0,77	0,73	0,77	0,45	0,75	0,703	0,78
	$V_o, \%$	24,7	23,2	17,7	17,9	16,2	19,6	19,27	16,8
№5 НПЗ	$(x_{max} - x_{min})$	6	6,1	10,5	10,7	6,2	6,3	30	31
	$\bar{x}$	7,15	7,22	10,6	10,8	7,05	7,24	44,98	45,0
	$s^2$	3,47	2,92	8,7	8,45	4,45	5,62	66,11	59,5
	$s$	1,86	1,71	2,95	2,88	2,11	2,37	8,13	7,71
	$s_{\bar{x}}$	0,27	0,25	0,44	0,43	0,32	0,36	1,19	1,14
	$K_o$	0,84	0,84	0,98	0,98	0,88	0,87	0,66	0,69
	$V_o$	26,1	23,7	27,7	26,6	31,8	32,8	18,08	17,1
№6 Загородная зона отдыха автокемпинг «Затерянный рай»	$(x_{max} - x_{min})$	4,5	6	7,6	7,5	4,7	4,7	30	25
	$\bar{x}$	6,44	6,39	10,0	9,97	7,22	7,11	45,23	45,1
	$s^2$	2,24	2,19	4,92	4,48	2,21	1,66	72,03	43,6
	$s$	1,50	1,48	2,22	2,12	1,49	1,29	8,49	6,60
	$s_{\bar{x}}$	0,42	0,41	0,62	0,59	0,41	0,36	2,36	1,83
	$K_o$	0,69	0,94	0,76	0,75	0,65	0,66	0,66	0,55
	$V_o$	23,3	23,2	22,2	21,3	20,6	18,1	18,77	14,6

Очень низкий уровень изменчивости ( $< 7 \%$ ) не был зафиксирован ни в одной из зон. Предполагаемая, наиболее чистая загородная зона по разным промерам также соответствовала среднему и повышенному уровням  $V_o$ .

После расчета показателя асимметричности  $FA$  провели проверку массива полученных величин на нормальное распределение и усреднили. показатели флуктуирующей асимметрии для всех площадок каждого района.

Соответствие средних значений коэффициентов  $FA$  разных районов города баллам качества среды, рекомендованными В.М. Захаровым с сотр. [6, 9], представлены на диаграмме 1, которая свидетельствует о загрязнении летом 2016 г. окружающей среды мегаполиса и опасной экологической обстановке в центре курортного города, где уровень загрязнения вплотную приблизился к баллам, характеризующим критическое состояние ( $> 0,54$ ).

Таким образом, загрязнение промышленных зон и центральных частей города (парк им. Шевченко и тихий центр Молдаванки) в первом приближении одинаково. Объяснение такой ситуации состоит в том, что поскольку нефтеперерабатывающий завод последние несколько лет простаивает, а цементный завод не работает на полную мощность, основным источником загрязнения во всех исследуемых районах Одессы является автомобильный транспорт. Наибольшая интенсивность движения автомобильного потока в течении суток наблюдается в центральной части города, в которой одной из особенно загруженных транспортных артерий является ул. Ришельевская.

Известна балльная система качества среды обитания живых организмов также по показателю флуктуирующей асимметрии, предложенная А. Б. Стрельцовым [3] и предназначенной для всех видов высших растений, однако в ней пятибалльная система имеет очень узкий диапазон соответствия показателю  $FA$ :  $< 0,0018 - > 0,04$ . Т. е. критический уровень загрязнения среды ( $> 5$  баллов) достигается при величине показателя флуктуирующей асимметрии 0,04, что по системе В. М. Захарова с сотр. соответствует двум баллам – относительно чистой среде (норма), см. табл. 1.

На наш взгляд, для современных урбанизированных территорий с их насыщенным автомобильным движением, запыленностью и производственными выбросами в атмосферу такой сужений интервал показателей не может реально отражать качество среды.

Наиболее реальной для применения в современных городах является система балльного соответствия показателям флуктуирующей асимметрии, разработанная Г. М. Мелькумовым и В. Э. Волковым, согласно которой состояние среды в г. Одесса характеризуется как приближающееся к критическому по всем зонам сбора биоматериала, даже загородная зона соответствует 3 баллам, см.

табл. 4. Балл 4 для зоны цементного завода соответствует максимуму диапазона  $FA$  0,045, т. е. вплотную приближенному к оценке 5 для всех остальных районов, кроме загородной зоны.

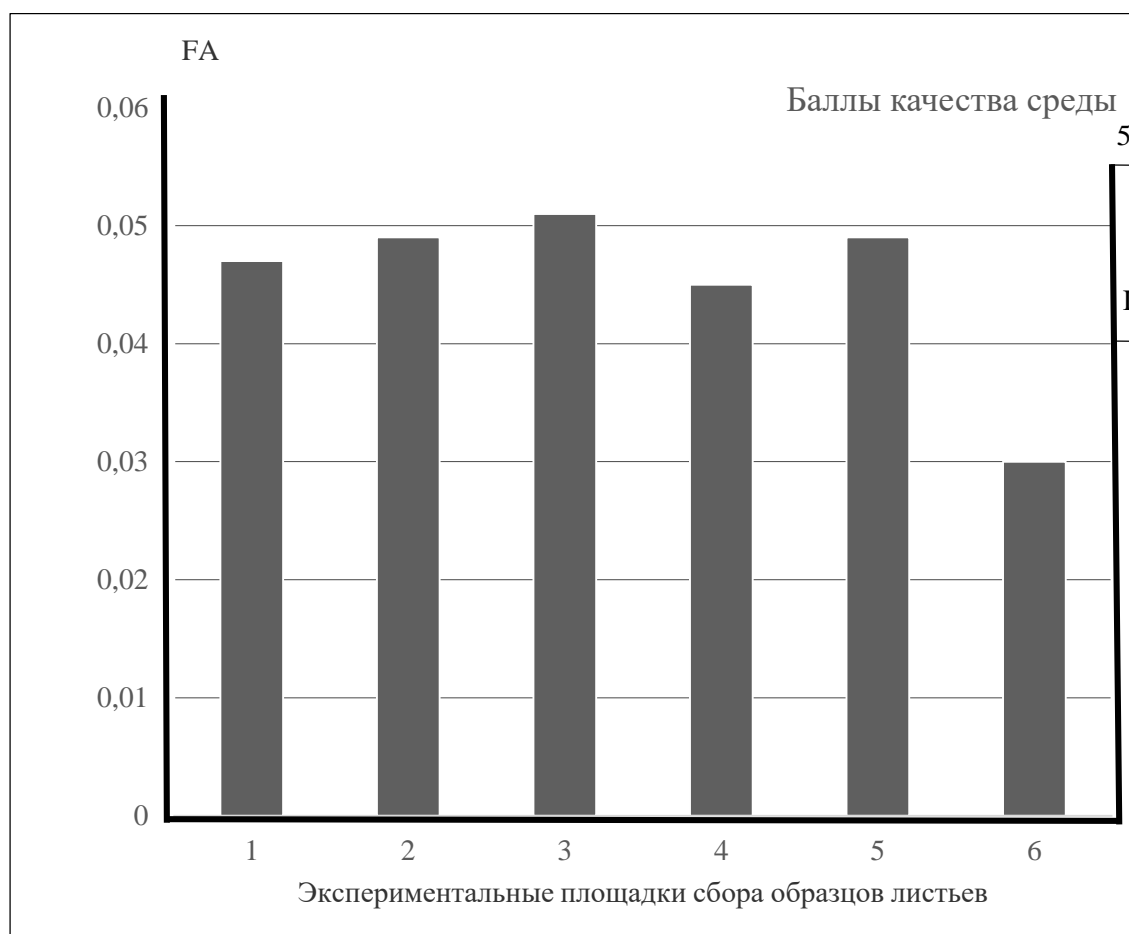


Диаграмма 1. Показатель  $FA$  и баллы качества среды [6, 9] на площадках №№1-6 г. Одесса

Последнее объяснимо большей обоснованностью этой шкалы, которая позволяет дать более объективную оценку состоянию среды. Очевидно, что нахождение в загородной зоне автокемпинга с автостоянкой и постоянным маневрированием машин не может соответствовать абсолютно безопасной и чистой среде.

Соотнесение показателей  $FA$  клена балльным системам качества среды, составленным В. М. Захаровым [6, 9] для березы и Г. М. Мелькумовым [8] для клена представлено в табл. 4.

**Таблица 4**  
Соответствие коэффициента флуктуирующей асимметрии ( $FA$ ) клена остролистного (*Acer Platanoides L.*) известным балльным системам качества среды

№ площадки	Показатель $FA$	Баллы по системе Захарова [6, 9]	Баллы по системе Мелькумова и Волкова [8]
№1 (Парковая зона)	0,047	3	5
№2 (Тихий центр)	0,049	3	5
№3 (Центр, ул. Ришельевская)	0,051	4	5
№4 (Цементный завод)	0,045	3	4
№5 (НПЗ)	0,049	3	5
№6 (Загородная зона)	0,030	1	3

Анализ оценок качества среды по известным балльным системам показал, что, по всей вероятности, усиление техногенного влияния на все компоненты биосферы и постепенная адаптация

биоты к антропогенному стрессу периодически вынуждают пересматривать квоты экологической безопасности, представленные в эмпирических системах.

### **Выводы**

1. Создан массив двусторонних промеров по 5 морфологическим признакам листьев клена, собранных в 6 районах на 14 площадках г. Одесса летом 2016 г. Статистическая обработка промеров листовых пластинок клена показала пригодность использования измеряемых признаков и самого листа клена остролистного для определения качества городской среды методом флуктуирующей асимметрии.

2. Для оценки качества среды разных районов г. Одесса методом флуктуирующей асимметрии произведен расчет показателей *FA* для пластических признаков листа клена остролистного (*Acer platanoides L.*) и их проверка на нормальное распределение.

3. Интерпретация полученных результатов величин *FA* по балльной системе В.М. Захарова с соотр., составленной для березы повислой и предлагаемой для других древесных растений, показывает, что состояние среды в городской черте и промышленных зонах фактически одинаковое и соответствует оценке «загрязнено», наихудший результат «грязно, опасно» отмечен на ул. Ришельевской, при этом загородная зона абсолютно благополучна (1 балл).

4. Наиболее оптимальной является балльная система оценки качества среды Г. М. Мелькумова и В. Э. Волкова, хорошо сочетающаяся с визуальной оценкой состояния листьев и имеющая большую балльную раздробленность. Высшая граница диапазона показателей *FA* (критическое состояние среды) в этой системе более приближена к реальному экологическому состоянию крупных населенных пунктов, а снижение минимального уровня показателя *FA* с одновременным введением дополнительного класса баллов позволяет более объективно оценивать экологическую ситуацию.

В нашем исследовании это подтверждает оценка загородной зоны в категории 3-х баллов (загрязнено, тревога), поскольку очевидно, что территория автокемпинга с постоянным движением машин не может соответствовать баллам абсолютно чистой среды (условной норме) как это устанавливается балльной системой Захарова. Система оценки качества среды В.М. Захарова создавалась для заповедных зон и результативна в условиях умеренного антропогенного влияния.

### **Литература**

1. Федорова Г. В. Біогеохімія для екологів : Навч. посібник. Одеса : Екологія, 2015. 284 с.
2. Вайнер Э. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Э. Вайнер, Р. Вальтер, Т. Ветцель. Москва : Мир, 1988. 348 с.
3. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. ВУЗов / О. П. Мелехова, Е. И. Сарapultцева, Т. И. Евсеева и др. ; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Сарapultцевой. М. : Изд. центр «Академия», 2008. С. 4, 79.
4. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ : НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. С. 10.
5. Van Valen L. Study of fluctuating asymmetry // Evolution. 1962. Vol. 16. № 2. P. 125-146.
6. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов и др. М. : Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
7. Щербаков А. В., Королькова Е. О. Флуктуирующая асимметрия листа клена остролистного (*Acer platanoides L.*) как индикационный показатель качества среды // Социально-экологические технологии. 2015. №1-2. С. 111-121.
8. Мелькумов Г. М., Волков Д. Э. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок клена остролистного (*Acer platanoides L.*) как тест экологического состояния паркоценозов городской зоны // Вестник ВГУ. Сер. География. 2014. №3. С. 95-98.
9. Захаров В. М., Чубанишвили А. Т. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях. М. : Центр экологической политики России. 2001. 136 с.
10. Федорова Г. В. Практикум з біогеохімії для екологів : Навч. посібник. Київ : КНТ. 2007. С. 89-91.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия : Учеб. пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа. 1990. 352 с.
12. Мамаев С. А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений. Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск. 1975. С. 3-14.

### **References**

1. Fedorova G. V. (2015). Bioeokhimiia dlia ekolohiv: navch. posibnyk [Biogeochemistry for ecologists]. Odesa : Ekolohiia. 284 [in Ukrainian].
2. Vainer E.. Bioindikatsiya zagryaznenii nazemnykh ekosistem [Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems] / E. Vainer, R. Valter, T. Vetcel'. Moskva : Mir, 1988. 348 [in Russian].



3. Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie : ucheb. posobie dlya stud. VUZov [Biological control of the environment: bioindication and biotesting : manual for university students] / O. P. Melekhova, E. I. Sarapultseva, T. I. Evseeva et al.; pod red. O. P. Melekhovoi i E. I. Sarapultsevoi. M. : Izd. centr «Akademiya», 2008. 4, 79 [in Russian].
4. Didukh YA. P. (2012). Osnovy bioindykatsii [The basics of bioindication]. Kyiv : NVP «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy». 10 [in Ukrainian].
5. Van Valen L. (1962). Study of fluctuating asymmetry // Evolution. Vol. 16. № 2. 125-146 [in English].
6. Zdorov'e sredy: metodika otsenki / V. M. Zakharov, A. S. Baranov, V. I. Borisov i dr. [Health of the environment: methodology of estimation]. M.: Centr ekologicheskoi politiki Rossii, 2000. 68 [in Russian].
7. SHCHerbakov A. V., Korol'kova E. O. (2015). Fluktuiruyushchaya asimmetriya lista klena ostrolistnogo (*Acer platanoides* L.) kak indikatsionnyi pokazatel' kachestva sredy [Fluctuating asymmetry of maple leaf (*Acer platanoides* L.) as indicatory index of quality of the environment]. Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii [Social and ecological technologies]. №1-2. 111-121 [in Russian].
8. Mel'kumov G. M., Volkov D. E. (2014). Fluktuiruyushchaya asimmetriya listovykh plastinok klena ostrolistnogo (*Acer platanoides* L.) kak test ekologicheskogo sostoyaniya parkotsenozov gorodskoi zony [Fluctuating asymmetry of sheet plates of maple (*Acer platanoides* L.) as test of the ecological state of parkcenosises of the municipal zone]. Vestnik VGU [Bulletin of VSU]. Series : Geography. №3. 95-98 [in Russian].
9. Zakharov V. M., Chubanishvili A. T. (2001). Monitoring zdorov'ya sredy na okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh [Monitoring of health of the environment on the guarded natural territories]. M. : Centr ekologicheskoi politiki Rossii. 136 [in Russian].
10. Fedorova G. V. (2007). Praktykum z bioheokhimii dlya ekolohiv : navch. posibnik [Practical work on biogeochemistry for ecologists]. Odesa : Ekolohiia. 284 [in Ukrainian].
11. Lakin G. F. (1990). Biometria : ucheb. posobie dlya biol. spec. VUZov. 4-e izd., pererab. i dop. [Biometry]. M. : Vysshaya shkola. 352 [in Russian].
12. Mamaev S. A. (1975). Osnovnye printsypy metodiki issledovaniya vnutrividovoi izmenchivosti drevesnykh rastenii [Basic principles of the methodology of the investigation of intraspecific variability of arboreal plants]. Individual'naya i ekologo-geograficheskaya izmenchivost' rastenii [Individual, ecological and geographical variability of plants]. Sverdlovsk. 3-14 [in Russian].