

*Д. Г. Федорова, Б. С. Укенов*

**ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТЬЕВ  
РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SORBUS AUCIPARIA* L.)  
КАК БИОИНДИКАТОР АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ГОРОДА ОРЕНБУРГА**

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

Принята к публикации 03.11.2023 г.

doi: 10.5922/gikbfu-2023-4-8

103

**Для цитирования:** Федорова Д. Г., Укенов Б. С. Флуктуирующая асимметрия листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения города Оренбурга // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2023. №4. С. 103 – 114. doi: 10.5922/gikbfu-2023-4-8.

*Проведена оценка степени загрязненности окружающей среды в городе Оренбург с использованием метода флуктуирующей асимметрии. В качестве индикатора состояния окружающей среды выбрана рябина обыкновенная. Сбор листьев проходил в семи точках города с разной антропогенной нагрузкой. Целью исследования стало определение влияния аэротехногенного загрязнения на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки популяций рябины обыкновенной в пределах города Оренбурга. Исследование показало, что листовые пластинки рябины обыкновенной в условиях города угнетены антропогенным фактором, испытывая загазованность воздуха и накапливая вредные вещества, а метод флуктуирующей асимметрии можно использовать в качестве индикатора нестабильности развития растений в условиях урбоэко-систем. Напряженное экологическое состояние по критерию интегрального показателя флуктуирующей асимметрии отмечено во всех точках, кроме набережной р. Урал. В этом районе исследования условия произрастания растений характеризуются как удовлетворительные. При проведении попарной корреляции анализируемых признаков установлены наиболее тесные связи между двумя парами: ширина половинок листа – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояния от основания листовой пластинки до конца жилки второго порядка – угол между главной жилкой и второй от основания листа.*

**Ключевые слова:** биоиндикация, урбанизированные территории, рябина обыкновенная, флуктуирующая асимметрия

### **Введение**

В современных реалиях основным фактором, ведущим к деградации почв и загрязнению атмосферного воздуха является техногенное загрязнение, которое связано с влиянием транспорта и иной антропогенной нагрузкой [3; 4; 6; 9; 10]. Негативное воздействие человека на окружающую среду выражается в изменении физиологических процессов, перестройке связей и питания цепей, разрушении биотических групп, изменении функционирования, деградации природных биотопов и глобальных изменениях в ландшафтах и климате [11; 12; 27; 31].



Проблема техногенного загрязнения окружающей среды становится актуальной во всем мире. Воздух в городах характеризуется высокой динамичностью за счет движения воздушных масс в горизонтальном и вертикальном направлениях. Загрязнители воздуха оседают на поверхности почв и растений и таким образом попадают в трофические цепи (почва – растение – животное – человек).

Из-за ускорения процессов урбанизации, ведущих к росту количества автомобилей, тормозится развитие зеленой инфраструктуры в городе. Для оценки негативных последствий таких воздействий на экосистемы существует острая необходимость в применении инструментов биомониторинга. При исследовании влияния поллютантов на окружающую среду используют различные растительные индикаторы [14–16; 21–24; 28].

Изучение флуктуирующей асимметрии (ФА) живых организмов приобретает широкий характер, зарекомендовав себя в качестве эффективного и экономичного инструмента биомониторинга как водных, так и наземных экосистем. Флуктуирующая асимметрия представляет собой небольшие случайные вариации симметрии билатеральных признаков и широко используется в качестве индикатора нестабильности развития. Организмы, развивающиеся в относительно свободной от стресса среде, способны исправлять случайные ошибки в развитии и демонстрируют меньшие отклонения оси билатеральной симметрии. По мере увеличения экологического стресса способность сопротивляться нарушениям развития и невозможность восстановления организмов после таких нарушений приводят к нестабильности или ошибкам, которые можно легко измерить как отклонения от симметрии [1; 5; 7; 8; 12; 19; 30].

Наблюдения за влиянием загрязнения воздуха на растительные организмы известны уже несколько столетий. Так, в 1661 г. Дж. Ивлин сделал первые описания повреждений листьев в результате загрязнения воздуха, вызванного сжиганием угля [18]. К таковым относится и флуктуирующая асимметрия листовых пластинок [2; 20; 25; 29; 31], когда под влиянием на растительный организм стрессовых факторов наблюдается отклонение в билатеральной симметрии его органа. Чем выше показатель асимметрии, тем нестабильнее экологическое состояние окружающей растения среды и, как следствие, тем сильнее снижение уровня гомеостаза растительного организма. Уровень изменяющейся асимметрии становится показателем условий развития и генетической адаптации, а также выступает в качестве параметра приспособленности. Таким образом, изменяющаяся асимметрия может рассматриваться как показатель стабильности развития и мера состояния урбоэкосистемы в целом.

Цель исследования – оценить экологическое состояние урбосреды (на примере г. Оренбурга) по изменчивости метрических параметров листовых пластинок *Sorbus aucuparia* L. Это предполагает решение следующих задач: выбор точек и построение маршрута проведения исследования; сбор и гербаризация биоматериала; измерение необходимых параметров; анализ и интерпретация полученных результатов.

## Материалы и методы исследования

Объект проводимого исследования — древесные растения рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), имеющей довольно широкое распространение на территории г. Оренбурга.

Сбор листьев происходил в разных районах города вдоль автодорог с интенсивным влиянием потока транспорта. Площадки для отбора материала исследования были заложены в семи точках г. Оренбурга (рис. 1):

- 1) точка 1 (просп. Дзержинского) —  $51^{\circ}49'39.6''$  N,  $55^{\circ}7'45''$  E;
- 2) точка 2 (сквер на ул. Терешковой) —  $51^{\circ}48'40.9''$  N,  $55^{\circ}6'20.9''$  E;
- 3) точка 3 (набережная р. Урал) —  $51^{\circ}58'33.2''$  N,  $55^{\circ}26'45.7''$  E;
- 4) точка 4 (ул. Братьев Коростылевых) —  $51^{\circ}47'54.2''$  N,  $55^{\circ}3'53.9''$  E;
- 5) точка 5 (район Нефтемаслозавода) —  $51^{\circ}49'23.9''$  N,  $55^{\circ}5'27.8''$  E;
- 6) точка 6 (ул. Беляевская) —  $51^{\circ}43'10.3''$  N,  $55^{\circ}9'10.7''$  E;
- 7) точка 7 (Ботанический сад Оренбургского государственного университета (ОГУ)) —  $51^{\circ}49'0.9''$  N,  $55^{\circ}7'17.1''$  E.

105



Рис. 1. Карта с точками отбора проб

Сбор материала производился по периметру всей кроны растений, до 50 листов с каждого. Среднее количество деревьев, с которых проходил сбор, — от 5 до 10 растений. Собранный материал гербаризировался и в последующем подвергался необходимой обработке.

Измерения производили с каждой из сторон (Л — левая, П — правая) листа, используя стандартный набор инструментов: лупа, линейка, транспортир, цифровой штангенциркуль. Под замер подпадал один листочек с правой стороны длиной от 4 до 5 см. Важным показателем являлось отсутствие механических повреждений или деформации на листовых пластинках.

106

В ходе исследования производились замеры пяти стандартных метрических измерений листовой пластинки по методике В.М. Захарова (рис. 2): признак 1 — ширины левой и правой половинок листовой пластинки; признак 2 — расстояния от основания листовой пластинки до конца жилки второго порядка; признак 3 — расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка; признак 4 — расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка; признак 5 — угол между главной жилкой и второй от основания листа [5].

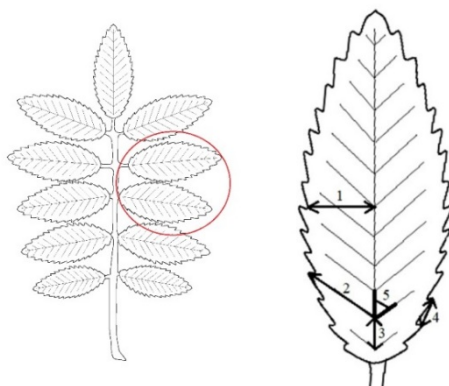


Рис. 2. Схема промеров листовой пластинки *Sorbus aucuparia* L.

Для вычисления показателя асимметрии использовали общепринятую методику В.М. Захарова. Интегральный показатель стабильности оценивался по стандартным критериям:  $<0,040$  — условная норма;  $0,040-0,044$  — удовлетворительное состояние;  $0,045-0,049$  — напряженное состояние;  $0,050-0,054$  — конфликтное состояние;  $>0,054$  — критическое состояние [5].

Для сопоставления изменчивости морфологических признаков в качестве меры изменчивости применялся коэффициент корреляции Пирсона ( $r$ ). При  $r < 0,3$  корреляционная зависимость между признаками слабая, при  $r = 0,3-0,7$  — средняя, при  $r > 0,7$  — сильная.

Статистическую обработку данных (корреляционный анализ, однофакторный анализ, анализ множественного сравнения, вычисление стандартной ошибки, коэффициент вариации) проводили с применением программ Microsoft Excel и Statistica 10.0.

## Результаты и выводы

Городская среда является нестабильной экосистемой, так как подвергается воздействию большого количества источников загрязнения воздуха, которое проявляется во внешних признаках ее элементов. Так, нарушение стабильности в развитии листовых пластинок проявляется в двусторонних признаках.

Результаты исследования демонстрируют переменчивость морфометрических показателей.

Если сравнивать длину всех измерений (в мм), то в большинстве случаев максимальные показатели характерны для образцов из Ботанического сада ОГУ. В первую очередь это связано с большим размером (площадью) самой листовой пластинки в этой точке, что было уже доказано нами ранее [13].

Среднее значение ширины половинок листа (признак 1) варьирует в зависимости от точки сбора в пределах 7,5–12,3 мм. В левой половине листа минимум по данному показателю установлен в точке 5, максимум – в точке 7. В целом по точкам исследования данный показатель проявляет однородность, резко отличаясь лишь для точки 7 (рис. 3).

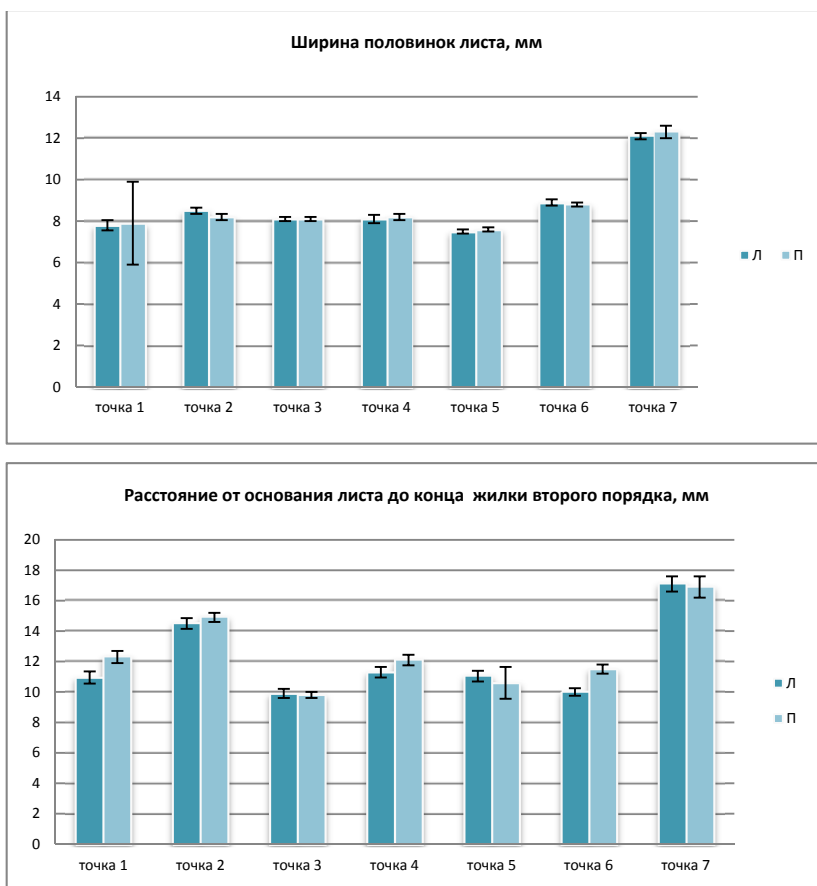


Рис. 3. Средние значения признаков 1 и 2 на участках исследования

Для признака 2 (расстояние от основания листовой пластинки до конца жилки второго порядка, рис. 3) наибольший средний показатель (17,1 мм) зафиксирован в пределах точки 7, в то время как наименьший (9,8 мм) — в точке 3. В районе точки 2 он составил с левой стороны 14,5 мм, с правой — 14,9 мм. В точке 6 отмечается наибольшая асимметрия: слева 10 мм, справа 11,5 мм. Для точки 4 с правой стороны листовой пластинки длина жилки равна 12,1 мм, с левой — 11,3 мм. В точке 1 значение составило 10,9 мм слева и 12,3 мм справа, в точке 5 — 10,6 мм слева и 11 мм справа. Предельные максимальные показатели зафиксированы у образцов Ботанического сада ОГУ как с правой (16,9 мм), так и с левой (17,1 мм) стороны, минимальные — в районе точки 3 (9,8 мм) с правой стороны листовой пластинки.

По признаку 3 (расстояния между основаниями жилок) максимальные значения устанавливаются на правой стороне образцов, полученных с точки 2 (5,5 мм), наименьшие значения — на правой стороне в точке 3 (2,2 мм) (рис. 4). Расстояние между концами этих же жилок (признак 4) изменялось от 4,8 мм до 7,1 мм на левой стороне листа и от 5,1 мм до 7,4 мм — на правой (рис. 4). Максимальные величины данного признака принадлежат листьям, собранным в точке 2. Минимальный уровень данного показателя установлен для правой стороны листовой пластинки в точке сбора 4, для левой — в точке 3.

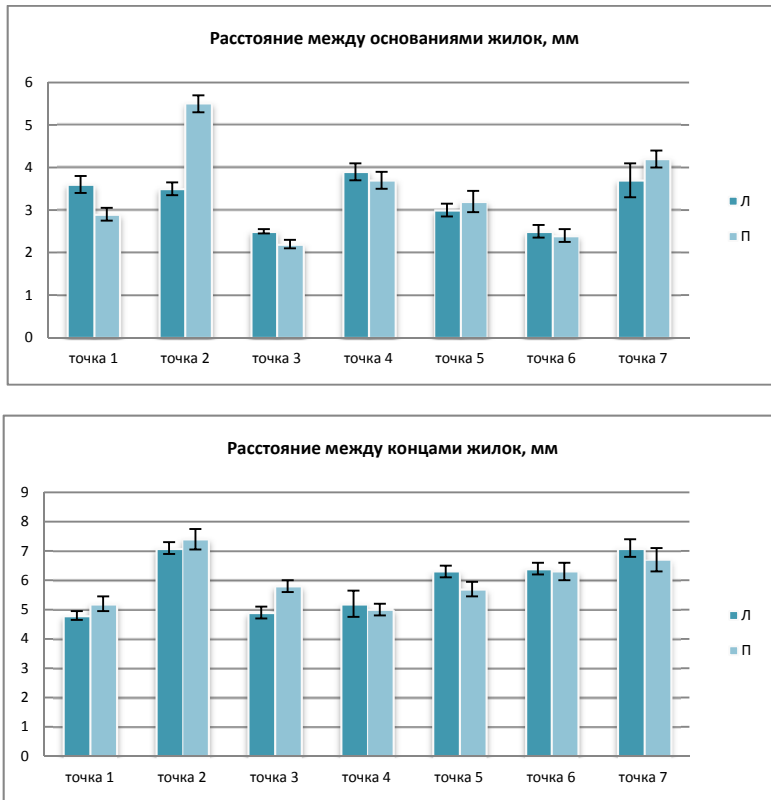


Рис. 4. Средние значения признаков 3 и 4 на участках исследования

Анализируя значения угла между главной жилкой и второй жилкой от основания (признак 5), стоит отметить, что с правой стороны наблюдается преобладание в значениях над левой стороной в большинстве точек сбора, кроме точки 3, где значения разнятся в пределах  $1,5^\circ$  (рис. 5). В точке 2 асимметрии по данному признаку выявлено не было. Наибольшее значение этого билатерального признака установлено в точке 7 на правой стороне листовых пластинок ( $57,0^\circ$ ), наименьший показатель зафиксирован в точке 6 слева ( $40,5^\circ$ ).

Значения  $48,1^\circ$  на левой стороне и  $46,5^\circ$  на правой стороне листовых пластинок зафиксированы в районе точки 3 и являются средними значениями. Образцы, взятые с точки 4, имеют показатели  $43,7^\circ$  слева и  $44,2^\circ$  справа. В точках 1 и 2 средние значения данного параметра очень близки и составляют  $42,8^\circ$  и  $42,0^\circ$  слева,  $44,3^\circ$  и  $42,0^\circ$  справа соответственно. В точке 5 отмечена наибольшая разница между двумя измеряемыми сторонами, равная  $7,6^\circ$ .

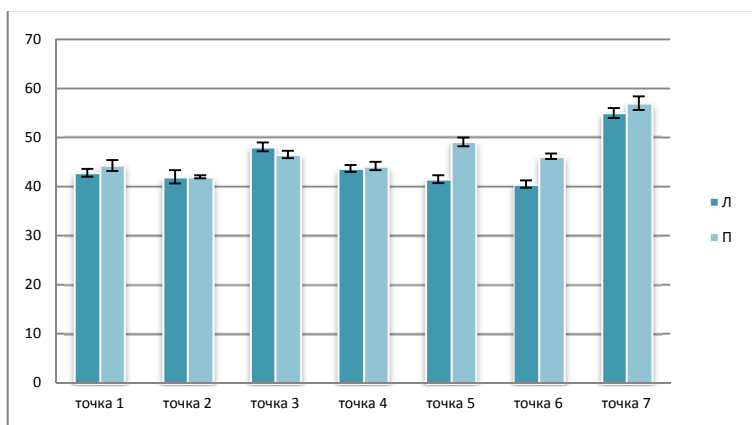


Рис. 5. Угол между главной жилкой и второй от основания листа (признак 5).

Используя параметрический однофакторный дисперсионный анализ, мы проанализировали статистическую значимость (при  $p \leq 0,05$ ) различий измерений левой и правой сторон листьев по всем анализируемым показателям. Полученные при этом результаты доказывают нарушение симметрии листовых пластинок, так как во всех анализируемых точках значение  $p$  оказалось менее  $0,05$ .

С помощью теста Ньюмена – Кейлса (множественное сравнение) проведен анализ наибольшей разницы по каждому признаку исследования между всеми точками сбора (значимость при  $p \leq 0,05$ ). По признаку 1 с левой стороны листа наиболее значимым оказалось различие между точками 5 и 6 ( $p = 0,044$ ), с правой стороны достоверно значимым оказалось отличие образцов с точки 7 от образцов со всех остальных точек исследования (во всех случаях  $p = 0,0001$ ). Аналогичная тенденция прослеживается по признаку 5 справа, а слева у данного признака помимо отличий точки 7 от всех остальных имеются статистически значимые отличия между точками 2 и 3 ( $p = 0,002$ ), 3 и 5 ( $p = 0,02$ ), 3 и 6 ( $p = 0,01$ ). Длина второй жилки слева статистически значимо различается у образцов, принадлежащих следующим парам точек: 1 и 2 ( $p = 0,0051$ ),

2 и 3 ( $p=0,0052$ ), 2 и 4 ( $p=0,0025$ ), 2 и 5 ( $p=0,0035$ ), 2 и 6 ( $p=0,0004$ ), 2 и 7 ( $p=0,013$ ). С правой стороны данный признак достоверно имеет большее отличие у точки 2 со всеми точками, исключая точку 7 ( $p=0,019$ ;  $p=0,0003$ ;  $p=0,037$ ;  $p=0,002$ ;  $p=0,015$ ), и у точки 7 со всеми точками, исключая точку 2 соответственно ( $p=0,0003$ ;  $p=0,0001$ ;  $p=0,0004$ ;  $p=0,0001$ ;  $p=0,0001$ ). Расстояние между основаниями жилок справа значительно отличается только в двух точках — 4 и 6 ( $p=0,043$ ), слева имеются наибольшие отличия у точки 2 с точками 1, 3, 5, 6 ( $p=0,0001$ ), а также с точками 4 ( $p=0,001$ ) и 7 (0,008). Здесь же имеют достоверную разницу точки 3 и 4 ( $p=0,021$ ), 3 и 7 ( $p=0,001$ ). Минимальным количеством статистически значимых отличий по точкам отбора проб характеризуется расстояние между концами жилок. Слева у этого признака сильное различие установлено у точки 2 с точками 1 и 3 ( $p=0,036$ ), с правой стороны — у точек 2 и 4 ( $p=0,033$ ), а также у образцов точки 7 с образцами точек 1 и 4 ( $p=0,04$ ;  $p=0,02$ ).

При проведении оценки качества среды по значению интегрального показателя стабильности развития получены результаты, которые свидетельствуют о том, что состояние окружающей среды во всех исследуемых точках, кроме одной, определяется как критическое (рис. 6). Точка 3 (набережная р. Урал) — единственная, характеризующаяся удовлетворительным состоянием. В целом значение показателя флуктуирующей асимметрии в проведенном исследовании варьирует в пределах от  $0,04 \pm 0,01$  (точка 3) до  $0,11 \pm 0,003$  (точка 1) и  $0,11 \pm 0,01$  (точка 5).

На основе полученных данных возможно построить вариационный ряд по возрастанию значения асимметрии билатеральных признаков в точках исследования: набережная р. Урал (точка 3) < Ботанический сад (точка 7) < ул. Братьев Коростылевых (точка 4) < сквер на ул. Терешковой, ул. Беляевская (точки 2 и 6) < просп. Дзержинского и район Нефтемазозавода (точки 1 и 5).

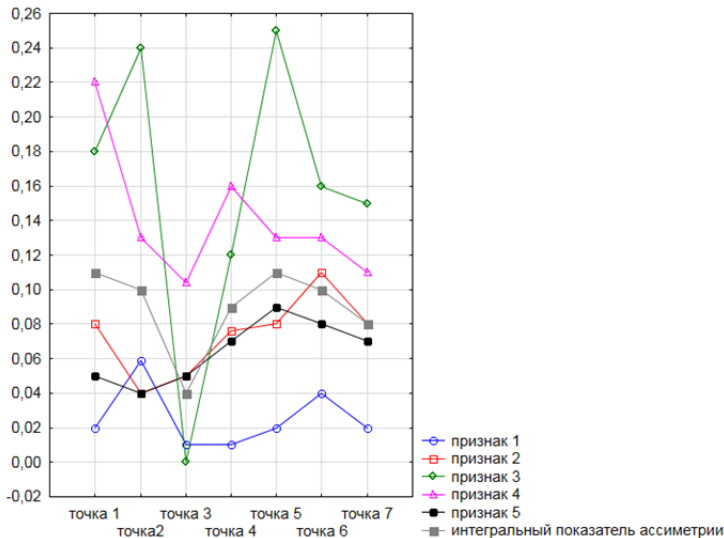


Рис. 6. График изменчивости интегральных показателей признаков асимметрии листовых пластинок *Sorbus aucuparia* L.





Из рисунка 6 видно, что признаки проявляют себя довольно вариативно по точкам исследования. Наибольшим коэффициентом вариации (72,0 %) характеризуется ширина листовых пластинок. Также довольно вариативным оказалось расстояние между основаниями жилок (51,9 %). Промежуточное положение по колебаниям значений занимает длина жилки второго порядка (31,5 %). Менее вариативными оказались расстояние между концами жилок и угол между жилками (28 % и 29 %). Коэффициент вариации интегрального показателя флуктуирующей асимметрии равен 26,6 %.

Корреляционный анализ зависимости показателей асимметрии исследуемых признаков показал наиболее существенную связь между шириной половинок листа и расстоянием между основаниями жилок, а также между длиной второй жилки и углом между второй и центральной жилкой. Суммарная величина асимметрии по каждому признаку имеет взаимосвязь со всеми признаками, но наибольшая зависимость прослеживается со значением расстояния между основаниями первой и второй жилок (табл.).

#### Значения коэффициента корреляции анализируемых признаков

Признак	Признак 1	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5	Интегральный показатель ФА
1	–	-0,38	0,56	-0,22	-0,53	0,24
2	-0,38	–	-0,39	0,03	0,61	0,39
3	0,56	-0,39	–	0,02	-0,32	0,64
4	-0,22	0,03	0,02	–	-0,47	0,12
5	-0,53	0,61	-0,32	-0,47	–	0,21
Интегральный показатель ФА	0,24	0,39	0,64	0,12	0,21	–

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наличие нарушения билатеральных признаков листьев *Sorbus aucuparia* L. достоверно установлено во всех исследуемых точках. Наибольшая зависимость интегральных показателей асимметрии при этом обнаружена для следующих пар признаков: ширина половинок листа – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояния от основания листовой пластинки до конца жилки второго порядка – угол между главной жилкой и второй от основания листа.

Также в ходе анализа флуктуирующей асимметрии листьев *Sorbus aucuparia* получены данные, свидетельствующие о напряженном экологическом состоянии окружающей урбосреды в местах произрастания растений. Только одна точка исследования – набережная р. Урал – показала удовлетворительное состояние, что может послужить рекомендацией для использования данной территории как зоны условного контроля.

## Список литературы

1. Баранов С.Г. Изучение признаков для оценки флуктуирующей асимметрии листовой пластины липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) южной части Московской области // Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение : сб. науч. тр. Томск, 2010. С. 43–46.
2. Баишаков Д.И. Морфологические индексы листьев *Betula Pendula* Roth. как индикаторы загрязнения почв тяжелыми металлами // Российский журнал прикладной экологии. 2022. №4 (32). С. 28–35. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.28.35>
3. Виноградов Б.В. Биоиндикация в рамках геозологии // Биоиндикация в городах и пригородных зонах : сб. науч. тр. М., 1993. С. 5–11.
4. Волчатова И.В., Попова Н.А. Оценка стабильности развития древесных растений в условиях антропогенного воздействия // XXI век. Техносферная безопасность 2018. Т. 3, №1 (9). С. 43–55.
5. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. Здоровье среды: методика оценки. М., 2000.
6. Кулагин А.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М., 2005.
7. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды : учеб. пособие. СПб., 2012.
8. Назаренко Н. Н., Мосиенко М. Ю. Биоиндикация окружающей среды : учеб. пособие. Челябинск, 2019.
9. Рябухина М.В., Брежнева И.Н. Мониторинг природной среды методом биоиндикации сосны обыкновенной в зоне антропогенного загрязнения города Оренбурга // Экология урбанизированных территорий. 2011. №3. С. 80–85.
10. Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев // Вестник Томского государственного университета. 2013. №368. С. 195.
11. Фёдорова Д.Г., Назарова Н.М., Кухлевская Ю.Ф. Модификация методики оценки жизнеспособности интродуцентов в соответствии с условиями сухостепной зоны Оренбургского Предуралья // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. №2. С. 57–62. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/07>.
12. Федорова А.И. Биоиндикация состояния городской среды по реакциям древесных растений. Воронеж, 1996. С. 212–213.
13. Федорова Д.Г., Назарова Н.М. Перспективность использования лиственных многолетних древесно-кустарниковых растений в биомониторинге урбо-среды (Оренбург, Россия) // Системы контроля окружающей среды. 2019. №4. С. 114–122.
14. Aboelata A., Sodoudi S. Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo // Build. Environ. 2020. №168. P. 106–490. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106490>.
15. Carrus G., Scopelliti M., Laforteza R. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas // Landsc. Urban Plann. 2015. №134. P. 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.022>.
16. Chen C., Park T., Wang X. China and India lead in greening of the world through land-use management // Nat. Sustain. 2019. №2. P. 122–129. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0220-7>.
17. Cowart N.M., Graham J.H. Within- and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica* L.) // Int. J. Plant Sci. 1999. №160. P. 116–121.



18. *Cuny D.* La biosurveillance végétale et fongique de la pollution atmosphérique: concepts et applications // *Annales Pharmaceutiques Françaises*. 2012. №70 (4). P. 182–187.
19. *Freeman D.C., Graham J.H., Emlen J.M. et al.* Plant developmental instability: new measures, applications, and regulation // *Developmental Instability: Causes and Consequences*. Oxford University Press, 2003. P. 367–386.
20. *Klisarić N.B., Miljković D., Avramov S. et al.* Fluctuating asymmetry in Robinia pseudoacacia leaves possible in situ biomarker // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014. №21 (22). P. 12928–12940. doi: 10.1007/s11356-014-3211-2.
21. *Lens L., Van Dongen S., Kark S.* Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies // *Biol. Rev.* 2002. №77. P. 27–38.
22. *Lens L., Van Dongen S.* Fluctuating and directional asymmetry in natural bird populations exposed to different levels of habitat disturbance, as revealed by mixture analysis // *Ecol. Lett.* 2000. №3. P. 516–522.
23. *Lens L., Wilder C.M., Brooks T.M.* Fluctuating asymmetry increases with habitat disturbance in seven bird species of a fragmented afro-tropical forest // *Proc. R. Soc.* 1999. №266. P. 1241–1246.
24. *Markevych I., Schoierer J., Hartig T.* Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance // *Environ. Res.* 2017. №158. P. 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>.
25. *Mendes G., Boaventura M.G., Cornelissen T.* Fluctuating Asymmetry as a Bioindicator of Environmental Stress Caused by Pollution in a Pioneer Plant Species. // *Environ Entomol.* 2018. №47 (6). P. 1479–1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>.
26. *Moller A.P., Pomiankowski A.* Punctuated equilibria or gradual evolution: Fluctuating asymmetry and variation in the rate of evolution // *J. Theor. Biol.* 1993. №161. P. 359–367.
27. *Palmer A. R., Strobeck C.* Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of tests // *Acta Zool. Fennica*. 1992. №191. P. 57–72.
28. *Van Dongen S., Molenberghs G., Matthysen E.* The statistical analysis of fluctuating asymmetry: REML estimation of a mixed regression model // *Evol. Biol.* 1999. №12. P. 94–102.
29. *Velickovic M.A.* Modified version of fluctuating asymmetry, potential for the analysis of *Aesculus hippocastanum* L. compound leaves // *Riv. Biol.* 2008. №101 (1). P. 81–92.
30. *Wilson J.M., Manning J.T.* Fluctuating asymmetry and age in children: Evolutionary implications for the control of developmental stability // *Hum. Evol.* 1996. №30. P. 529–537.
31. *Zakharov V.M., Trofimov I.E.* Fluctuating asymmetry as an indicator of stress // *Emerg. Top. Life Sci.* 2022. №6 (3). P. 295–301. <https://doi.org/10.1042/ETLS20210274>.

#### Об авторах

Дарья Геннадьевна Федорова — канд. биол. наук, доц., Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия.

E-mail: daryaorlova24@rambler.ru

Булат Сирикбаевич Укенов — канд. биол. наук, доц., Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия.

E-mail: 89198660945@mail.ru



*D. G. Fedorova, B. S. Ukenov*

**FLUCTUATING ASYMMETRY OF LEAVES  
OF MOUNTAIN ASH (*SORBUS AUCUPARIA* L.)  
AS A BIOINDICATOR OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION  
OF THE CITY OF ORENBURG**

Orenburg State University, Orenburg, Russia

Received 25 September 2023

Accepted 3 November 2023

doi: 10.5922/gikbfu-2023-4-8

114

**To cite this article:** Fedorova D.G., Ukenov B.S., 2023, Fluctuating asymmetry of leaves of mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.) as a bioindicator of aerotechnogenic pollution of the city of Orenburg, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №4. P. 103–114. doi: 10.5922/gikbfu-2023-4-8.

*An assessment of environmental pollution in the city of Orenburg was conducted using the fluctuating asymmetry method. The common mountain ash was chosen as an environmental indicator. Leaf collection took place at seven points in the city with varying anthropogenic loads. The research aimed to determine the impact of aerotechnogenic pollution on the magnitude of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of the populations of mountain ash within the city of Orenburg. The study revealed that the leaf blades of mountain ash in urban conditions are affected by anthropogenic factors, experiencing air pollution and accumulating harmful substances. The fluctuating asymmetry method can be used as an indicator of plant development instability in urban ecosystems. Elevated environmental stress, based on the integral indicator of fluctuating asymmetry, was noted at all points except the Ural River Embankment. In this area, the growing conditions for plants were characterized as satisfactory. Through pairwise correlation analysis of the examined characteristics, the closest connections were found between two pairs: the width of the leaf half – the distance between the bases of the first and second order veins; the distance from the base of the leaf plate to the end of the second-order vein – the angle between the main vein and the second from the base of the leaf.*

**Keywords:** bioindication, urban areas, mountain ash, fluctuating asymmetry

**The authors**

Dr Darya G. Fedorova, Associate Professor, Orenburg State University, Russia.  
E-mail: daryaorlova24@rambler.ru

Dr Bulat S. Ukenov, Associate Professor, Orenburg State University, Russia.  
E-mail: 89198660945@mail.ru