

© М. С. ШАРАФУТДИНОВА, Б. С. ХАРИТОНЦЕВ

Тюменский государственный университет  
mauliha@yandex.ru, xaritoncev52@mail.ru

УДК 58.009

**ОСОБЕННОСТИ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ  
БИЛАТЕРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА ПОПУЛЯЦИЙ *TILIA  
CORDATA L.* В УСЛОВИЯХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**FEATURES OF FLUCTUATING ASYMMETRY IN BILATERAL SHAPES  
OF THE LEAF OF *TILIA CORDATA L.* IN CONDITIONS  
OF THE SOUTH OF TYUMEN REGION**

Показаны особенности флуктуирующей асимметрии листа *Tilia cordata L.* в естественных местах произрастания в условиях юга Тюменской области. Выявлены особенности распределения количественных показателей пяти промеров (признаков) листа с помощью коэффициентов асимметрии  $A_s$  и эксцесса  $E_x$ . Изучены направленность-ненаправленность асимметрии признаков листа с помощью критерия Вилкоксона. Корреляционный анализ Спирмена определен с использованием отношения величин асимметрии признака ( $L-R$ ) к размерам признака на обеих сторонах листа ( $(L-R)/2$ ). Проведен анализ изменчивости признаков листовой пластинки. Анализ пяти промеров листа *Tilia cordata L.* выявил высокую степень близости результатов, однотипность выборок в пределах популяции, но гораздо отличающихся в межпопуляционном плане. Флуктуирующая асимметрия листьев *T. cordata L.* в популяциях трех районов исследования (Вагайский, Тобольский, Яркковский) соответствуют данным, выявленным в природных популяциях при отсутствии видимых отрицательных факторов (например, на особо охраняемых природных территориях) [10].

The features of leaf fluctuating asymmetry of *Tilia cordata L.* in natural areas of growth in the conditions of the south of the Tyumen region are observed. Features of distribution of quantitative measurements of five shapes of the leaf were studied using the skewness  $A_s$  and  $E_x$ . The directed and non-directed asymmetry signs were studied using Wilcoxon test. Spearman's correlation analysis determined the ratio of the asymmetry feature ( $L-R$ ) concerning the size of the shape on both sides ( $(L-R)/2$ ). Analysis of the variability of traits of the leaf blade was conducted. The analysis of five measurements revealed a high degree of closeness between these results, and the same type of samples within a population, but it is much different between populations. Fluctuating asymmetry of the leaves *T. cordata L.* in the three areas of research (Vagaysky district, Tobolsk, Yarkovskiy district) correspond to those identified in natural populations in the absence of apparent negative factors (eg. in specially protected areas).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Флуктуирующая асимметрия, лина сердцелистная, интегральный показатель.

**KEY WORDS.** Fluctuating asymmetry, *Tilia cordata L.*, integral indicator.

**Краткое введение.** Флуктуирующая асимметрия (ФА) — небольшие или частичные отклонения от определенной двусторонней симметрии, которые могут проявляться при нарушении стабильности развития организма и выражаются тем ярче, чем сильнее внешние воздействия со стороны факторов среды [2; 5; 7; 9; 11]. Флуктуирующая асимметрия является чувствительным показателем состояния природных популяций в конкретной фитосреде [3; 5].

Целью нашего исследования является определение изменчивости показателей флуктуирующей асимметрии листьев *T. cordata* L. в условиях липняков на территории юга Тюменской области.

**Экспериментальная часть.** Сбор материала проводился летом 2014 г. в Вагайском, Тобольском и Ярковском районах Тюменской области и включал 33 выборки из 7 популяций. Всего было проанализировано 330 листьев *T. cordata* L. по следующим 5 промерам (признакам): 1) ширина левой и правой сторон листа; 2) длина жилки второго порядка, второй от основания листа; 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4) расстояние между концами этих же жилок; 5) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка [7].

Вычисления сделаны при помощи измерительного циркуля, линейки и транспортира. Флуктуирующая асимметрия (ФА) листовой пластинки *T. cordata* L. вычислена при помощи методики оценки состояния природных популяций по стабильности развития организмов [7-8].

В начале исследований был проведен статистический анализ каждого промера (признака) по рекомендациям, описанным в работах Д. Б. Гелашвили [1]. Выяснен флуктуирующий характер асимметрии всех 5 признаков перед количественной оценкой нестабильности развития через ФА [1; 7; 10]. С этой целью был сделан анализ индивидуальных признаков с помощью коэффициентов эксцесса  $E_x$  и асимметрии  $A_s$ , корреляционного анализа Спирмена, критерия Вилкоксона, анализа вариабельности признаков листовой пластинки слева и справа [1; 9]. Величина ФА вычислена с помощью интегрального показателя. Расчеты проведены с применением статистического пакета Statistica 8.0 и Excel 2007.

Изменчивость морфометрических параметров изучена на уровне признаков сторон листа слева и справа. При определении закономерностей внутривидовой изменчивости использованы основные принципы методики С. А. Мамаева [6]. Рассмотрены амплитуды изменчивости признаков, представленные коэффициентом вариации ( $V\%$ ). Уровни изменчивости выявлены в соответствии со следующей шкалой: очень низкий (до 7%), низкий (7-12%), средний (13-20%), высокий (21-40%) и очень высокий (более 40%).

**Результаты и обсуждение.** В начале был сделан анализ типа распределения асимметрии всех 5 признаков (рис. 1). В ходе непараметрического статистического анализа выяснено, что 1-4 признака листа по значениям  $A_s$  имеют сходное положительное нормальное распределение. По 5 признаку выявлены существенные отличия для Вагайского района ( $A_s = -0,21$ ) и Ярковского района ( $A_s = -1,46$ ). Коэффициенты  $E_x$  практически во всех районах имеют отрицательные значения по трем признакам (ширина левой и правой сторон листа, длина жилки второго порядка и расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка). В Ярковском районе признак расстояния между концами жилок имеет очень высокий показатель —  $E_x = 8,16$  (рис. 1). Положительные значения по

признаку угла между главной жилкой и второй от основания листа характерны для листьев в популяциях *T. cordata* L. Тобольского ( $E_x = 1,47$ ) и Ярковского ( $E_x = 2,27$ ) районов.

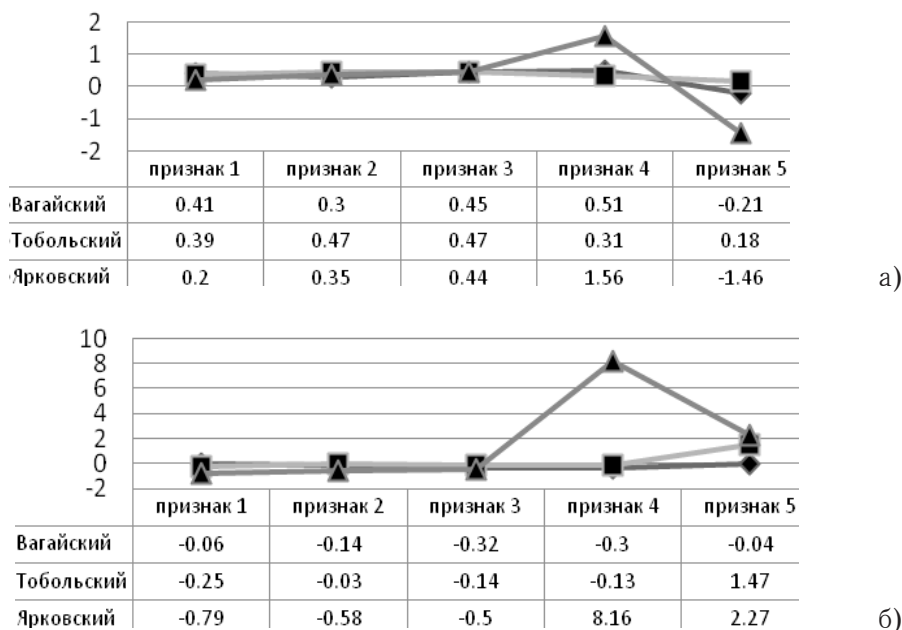


Рис. 1. Анализ нормальности распределения показателей асимметрии билатеральных признаков листа *T. cordata* L: а) коэффициенты As; б) коэффициенты  $E_x$

По критерию Вилкоксона, определяющего направленность-ненаправленность асимметрии, также анализированы все признаки (табл. 1). Исходя из результатов анализа можно сказать, что в трех случаях (признак расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка — Ярковский район; признак угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка — Вагайский и Ярковский районы) обнаружены статистически значимые ( $p < 0,05$ ) отличия в величине признака на левой и правой стороне листа. По другим признакам статистически значимых отличий в величине признаков на разных сторонах листа нами не установлено. Например, по признаку длины жилки второго порядка, второй от основания листа (в Вагайском районе  $t = 777$ ; в Тобольском районе  $t = 3076$ ; в Ярковском районе  $t = 1302$ ).

Для анализа взаимосвязи величин был применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Устанавливалась связь между значениями асимметрии (R-L) со средним размером признака  $(L+R/2)$  [1]. Результаты вычислений приведены в табл. 2, которые показывают очень высокую корреляцию параметров у трех анализируемых признаков 1-3. Во всех районах исследования коэффициент ранговой корреляции изменяется от 0,9 до 1,0. 4 признак (расстояние между концами жилок) и 5 признак (угол между главной жилкой и второй жилкой) имеют высокую корреляционную взаимосвязь, варьирующую от 0,7 до 0,8.

Таблица 1

**Статистические показатели направленности-неаправленности асимметрии билатеральных признаков *Tilia cordata* L. (критерии Вилкоксона)**

Район исследования	1			2			3			4			5		
	t	z	p	t	z	p	t	z	p	t	z	p	t	z	p
Вагайский	870	0,945	0,34	777	0,18	0,86	631	0,063	0,95	423	1,07	0,28	546	3,44	<b>0,0006</b>
Тобольский	2817	0,858	0,39	3076	0,57	0,57	1593	1,52	0,13	736	1,13	0,26	1717	1,65	0,10
Ярковский	1077	0,387	0,70	1302	0,067	0,95	729	1,37	0,17	222	2,16	<b>0,03</b>	561	4,57	<b>0,00005</b>

Примечание: жирный шрифт — уровень значимости различий ( $p < 0,05$ ) при сравнении величины признака на левой и правой стороне листа.

Таблица 2

**Статистический анализ корреляции между величинами асимметрии и средней величиной признака *Tilia cordata* L. (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, R)**

Район исследования	1 признак	2 признак	3 признак	4 признак	5 признак
Вагайский	R=0,9	R=1,0	R=0,9	R=0,7	R=0,8
Тобольский	R=0,9	R=1,0	R=0,9	R=0,8	R=0,8
Ярковский	R=0,9	R=0,9	R=0,9	R=0,7	R=0,7

Изучение вариабельности признаков листовой пластинки показало (табл. 3), что наиболее изменчивыми признаками во всех районах исследования являются расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок справа и слева (высокий уровень изменчивости). Коэффициенты вариации по всем признакам изменяются от  $V = 10\%$  (Вагайский район, угол между главной и 2-й жилкой справа) до  $V = 35\%$  (Вагайский район, расстояние между основанием 1-й и 2-й жилок второго порядка). *T. cordata* L., произрастающая в Вагайском районе, имеет изменчивые параметры по длине 2-й жилки справа и слева ( $V = 21 - 22\%$  — высокий уровень), в Ярковском районе отличается по признаку расстояния между концами 1-й и 2-й жилок справа ( $V = 22\%$  — высокий уровень). Наименее изменчивыми признаками являются угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка ( $V = 10 - 12\%$  — низкий уровень изменчивости).

Для всех признаков величина асимметрии листа *Tilia cordata* L. вычислена как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах листа. Интегральным показателем стабильности развития для всех соразмерных признаков является средняя величина относительного различия между сторонами на признак. Выявленные величины интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листьев данного вида представлены на рис. 2.

Таблица 3

**Показатели исследуемых признаков листа слева и справа  
в 33 выборках *Tilia cordata* L.**

Признак	Вагайский			Тобольский			Ярковский		
	Мсм	$\sigma$	V%	Мсм	$\sigma$	V	Мсм	$\sigma$	V
Ширина листовой пластинки справа	2,6	0,46	18	2,8	0,47	17	3,0	0,57	19
Ширина листовой пластинки слева	2,6	0,46	18	2,8	0,46	16	3,0	0,56	19
Длина 2-й жилки 2-го порядка справа	3,9	0,81	21	3,9	0,74	19	4,4	0,87	20
Длина 2-й жилки 2-го порядка слева	3,9	0,84	22	3,9	0,73	19	4,4	0,88	20
Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок справа	1,2	0,42	35	1,2	0,33	28	1,3	0,39	30
Расстояние между основаниями 1-й и 2-й жилок слева	1,2	0,40	33	1,2	0,35	29	1,3	0,39	30
Расстояние между концами 1-й и 2-й жилок справа	0,8	0,13	16	0,8	0,15	19	0,9	0,20	22
Расстояние между концами 1-й и 2-й жилок слева	0,8	0,14	18	0,8	0,15	19	0,9	0,14	16
Угол между главной и 2-й жилкой справа	46	4,8	10	46	6,12	13	47	6,31	13
Угол между главной и 2-й жилкой слева	45	5,3	12	47	5,28	11	49	5,28	11

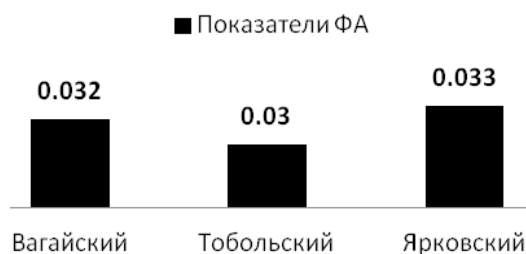


Рис. 2. Интегральные показатели ФА

Стабильность развития растений *T. cordata* L. зависит от состояния окружающей среды. Обратимся к шкале оценки стабильности развития организмов. Балл до 0,040 показывает (Вагайский — 0,032, Тобольский — 0,030, Ярковский — 0,033), что растения во всех трех районах находятся в благоприятных условиях произрастания — качество факторов среды хорошее и соответствует условной норме.

### Выводы

1) Вычисленные коэффициенты  $E_x$  и  $A_s$  показали сходность флуктуирующей асимметрии листьев в популяциях *T. cordata* L. по следующим признакам: ширине левой и правой сторон листа, длине жилки второго порядка, расстоянию между основаниями первой и второй жилок второго порядка. Выявлены существенные отличия по признакам расстояния между концами жилок и углом между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка. Например, коэффициент  $A_s$  по пятому признаку для популяций: Яркоковский район ( $A_s = -1,46$ ) — Вагайский ( $A_s = -0,21$ ) — Тобольский ( $A_s = 0,18$ ).

2) Анализ пяти признаков на основе критерия Вилкоксона показал незначительные различия в величинах левой и правой сторон листа *T. cordata* L. Например, по признаку расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка — Яркоковский район ( $t = 222$ ) и по признаку угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка — Вагайский ( $t = 546$ ) и Яркоковский районы ( $t = 561$ ) выявлены статистически значимые отличия в величине признака на левой и правой стороне листа.

3) Найденные величины коэффициента ранговой корреляции Спирмена указали на различную степень корреляции значений симметрии признаков в разных популяциях *T. cordata* L. Например, величины коэффициентов по признаку расстояния между концами жилок изменялись в популяциях Вагайского района —  $R = 0,69$ , Тобольского района —  $R = 0,83$ , Яркоковского района —  $R = 0,74$ .

4) Параметры признаков правой и левой сторон листа *T. cordata* L. внутри популяций в трех районах исследования отразили сходство величин  $M$ ,  $\sigma$ ,  $V$  и в то же время они существенно отличились в межпопуляционном плане. Например, параметры ширины листовой пластинки в Вагайском районе —  $M = 2,6 \pm 0,46$  см,  $\sigma = 0,46$  см,  $V = 18\%$ ; Тобольском —  $M = 2,8 \pm 0,47$  см,  $\sigma = 0,47$  см,  $V = 17\%$ ; Яркоковском —  $M = 3,0 \pm 0,57$  см,  $\sigma = 0,57$  см,  $V = 19\%$ .

5) Величины интегрального показателя ФА (Вагайский — ФА = 0,032, Тобольский — ФА = 0,030, Яркоковский — ФА = 0,033) указывают на благоприятные условия произрастания *Tilia cordata* L. в трех районах исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелашвили Д. Б., Чупрунов Е. В., Иудин Д. И. Структурно-информационные показатели флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов // Журн. общ. биол. 2004. Т. 65. № 4.
2. Захаров В. М. Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 216 с.
3. Захаров В. М., Чубинишвили А. Т., Дмитриев С. Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 318 с.
4. Кожара А. В. Структура показателя флуктуирующей асимметрии и его пригодность для популяционных исследований // Биологические науки. 1985. № 6. С. 100-103.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
6. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере сем. Рипасаеа на Урале). М.: Наука, 1973. 282 с.
7. Мелехова О. П., Егорова Е. И., Евсеева Т. И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 288 с.

8. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур): Распоряжение Росэкологии от 16.10.2003. № 460-р. 28 с.

9. Савинцева Л. С., Егошина Т. Л., Ширяев В. В. Оценка качества урбаноосреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula roth*). Вестник Удмуртского университета, 2012. Вып. 2. С. 31-37.

10. Хузина Г. Р. Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata L.*). Вестник Удмуртского университета. 2011. Вып. 3. С. 47-52.

11. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating Asymmetry: Measurement, Analysis, Patterns // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1986. № 17. P. 391-421.

#### REFERENS

1. Gelashvili, D. B., Chuprunov, E. V., Iudin, D. I. Structural and informational indices of fluctuating asymmetry in bilaterally symmetric organisms // Journal of General Biology. 2004. Vol. 65. № 4 (in Russian).

2. Zakharov, V. M. Animals Asymmetry. Moscow: Nauka, 1987. 216 p. (in Russian).

3. Zakharov, V. M., Chubinishvili, A. T., Dmitriev, S. G. et al. Environmental Health: Practical Aspects of Assessment. Moscow: Tsentr ekologicheskoi politiki Rossii [Center of Russian Environmental Policy], 2000. 318 p. (in Russian).

4. Kozhara, A. V. The structure of the index of fluctuating asymmetry and its efficiency in population research // Biological Sciences. 1985. № 6. Pp. 100-103. (in Russian).

5. Lakin, G. F. Biometry: A guide for students of biology in higher educational institutions / 4th ed., rev. and extended. Moscow: Vysshiaia shkola, 1990. 352 p. (in Russian).

6. Mamaev, S. A. Forms of Intraspecific Variation of Woody Plants (by the example of the family Pinaceae in the Urals). Moscow: Nauka, 1973. 282 p. (in Russian).

7. Melehova, O. P., Egorova, E. I., Evseeva, T. I. Biological Control of the Environment: Bioindication and Biotesting. Moscow: Publishing Center "Academia", 2007. 288 p. (in Russian).

8. Guidelines to the Implementation of Environmental Quality Assessment on the basis of Living Organisms (Evaluation of the Stability of Development of Living Organisms by Asymmetry of Morphological Structures): Order of Rosecology dated 16 October 2003. № 460. 28 p. (in Russian).

9. Savintseva, L. S., Egoshina, T. L., Shiryayev, V. V. Assessment of the quality of the urban environment in Kirov based on the analysis of fluctuating asymmetry of the leaf blade of the silver birch (*Betula pendula roth*) // Bulletin of Udmurt University, 2012. Issue 2. Pp. 31-37. (in Russian).

10. Huzina, G. R. Characteristics of fluctuating asymmetry of bilateral features of leaf of the linden (*Tilia cordata L.*) // Bulletin of Udmurt University, 2011. Issue 3. Pp. 47-52. (in Russian).

11. Palmer, A. R., Strobeck, C. Fluctuating Asymmetry: Measurement, Analysis, Patterns // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 1986. № 17. Pp. 391-421.

#### Авторы публикации

**Маулиха Сабировна Шарафутдинова** — аспирант Тюменского государственного университета

**Борис Степанович Харитонцев** — профессор кафедры биологии, экологии и методики преподавания естествознания Тюменского государственного университета

#### Authors of the publication

**Mauliha S. Sharafutdinova** — Postgraduate student, Tyumen State University

**Boris S. Kharitontsev** — Dr. Sci. (Biol.), Professor of the Department of Biology, Ecology and Their Methods of Teaching, Tyumen State University