

УДК 592:581.9(477.62)

Ю.А. Штирц

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *ACER PSEUDOPLATANUS* L. В ПРИДОРОЖНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. ДОНЕЦКА

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Методами геометрической морфометрии проведена оценка изменчивости формы листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в придорожных насаждениях автодорог с различной интенсивностью движения автотранспорта. Установлено влияние интенсивности автотранспортного потока на форму листовой пластинки исследуемого вида. В вариабельность формы листовой пластинки значительный вклад вносят метки, которые соответствуют верхушкам лопастей базальной части, и метки, отвечающие вырезам средней лопасти листовой пластинки.

**Ключевые слова:** геометрическая морфометрия, листовая пластинка, *Acer pseudoplatanus*, относительные деформации, придорожные насаждения, консенсус

### Введение

Форма и размер растений и их органов являются важными базовыми характеристиками и имеют длительную историю применения при принятии таксономических решений и оценке онтогенетического и жизненного состояния растительных организмов [1]. Изменение формы может быть показателем, превосходящим по информативности типичные метрические характеристики, такие как линейные размеры, площадь или объем [2].

В исследованиях морфологических объектов активно развивается такой подход к изучению разнообразия формы как геометрическая морфометрия [3–7], представляющая собой особый аналитический инструмент, который позволяет оценивать разнообразие формы, полностью исключая влияние размерного фактора [8]. Возможность количественного сравнения объектов по их форме независимо от размеров достигается, прежде всего, нетривиальностью способа описания формы с помощью координат точек вместо расстояний между ними [9]. В основе данного подхода лежит концепция многомерного пространства форм, осями которого являются переменные формы. Каждый отдельный объект (отдельная форма) представляется как точка этого пространства [10].

Основной задачей геометрической морфометрии в ботанических исследованиях является объективизация оценки формы органов растений и разработка методов, которые выявляют различия между формами [1]. Листья растений являются наиболее чувствительными к условиям окружающей среды органами растений, под влиянием различных факторов в них происходят морфологические изменения [11]. По мнению многих авторов, изменение морфологии листьев одного и того же вида связано именно со сменой условий его произрастания [12–18]. Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы [14, 16, 19–21].

Определение влияния условий произрастания растений на форму их листьев крайне трудно поддается непосредственному экспериментальному исследованию, но может быть учтено косвенным путём, посредством сбора материала в местах с различными условиями [13].

Принимая во внимание высокую значимость зеленых насаждений как важнейшего элемента оптимизации антропогенно трансформированных территорий, исследование различных аспектов

морфологической изменчивости видов древесных растений как проявление их адаптаций является актуальным.

### Цель исследований

Цель наших исследований – установить изменчивость формы листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных насаждений автодорог г. Донецка с различной интенсивностью движения автотранспорта с использованием методов геометрической морфометрии.

### Объекты и методики исследований

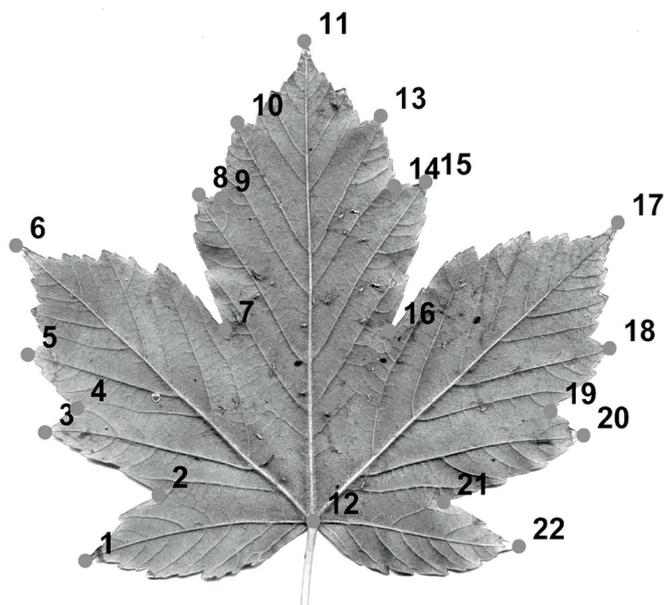
*A. pseudoplatanus* характеризуется высокой газоустойчивостью в техногенных условиях. Долевое участие вида в древесных насаждениях города Донецка составляет 1,9% [22].

Материал собран в летние периоды 2010–2017 гг. в придорожных насаждениях автомагистралей города Донецка с различной интенсивностью движения автотранспорта. Сбор листьев осуществлялся с нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода, находящихся в непосредственной близости от автомобильных дорог: расстояние от проезжей части до ствола дерева не превышало 1,5 м. Определение возрастного состояния деревьев проводилось по системе О.В. Смирновой и др. [23]. Объем выборки по каждой точке сбора составил не менее 100 листовых пластинок: по 10 листьев с 10 экземпляров растений. Согласно С.В. Капанову [24], интенсивность автомобильного движения на участке автомагистрали – это количество автомобильных средств, прошедших данный участок за единицу времени в обоих направлениях. Принимая это во внимание, в наших исследованиях мерой интенсивности движения автотранспорта послужила средняя величина количества транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автодороги за 1 час в светлое время суток в обоих направлениях. Интенсивность движения автотранспорта на исследуемых дорогах распределялась следующим образом: 1) свыше 1200 авт./час; 2) 700–800 авт./час; 3) 600–700 авт./час. Автомагистрали, в придорожных полосах которых осуществлялся сбор материала, располагались в кварталах многоэтажной жилой застройки города и имели асфальто-бетонное покрытие. Для сравнения формы листовой пластинки деревьев, произрастающих в условиях придорожных насаждений города, с листовыми пластинками в удалении от автомаги-

стралей, были собраны листья *A. pseudoplatanus* на территории государственного учреждения «Донецкий ботанический сад» (далее – Донецкий ботанический сад), которая выступала в качестве условного контроля.

Листья *A. pseudoplatanus* были отсканированы при помощи сканера Epson Perfection 1270. Затем на оцифрованных изображениях с помощью компьютерной программы TPSDig 2.10 нанесены 22 метки. В качестве мест для расстановки меток выбирались «распознаваемые» участки листа: точки окончания жилок, места наибольшей кривизны контура, включая верхушки лопастей и точки наибольшей глубины вырезов в межлопастных пазухах. Первые десять меток были расположены по краю листовой пластинки левой стороны изображения по часовой стрелке, метка 11 – на верхушке листовой пластинки, 12 – в месте прикрепления черешка, остальные метки (13–22) располагались на правой стороне изображения по аналогии с метками 1–10.

Расположение меток на оцифрованном изображении листовой пластинки *A. pseudoplatanus* отражено на рис. 1.



**Рис. 1.** Расположение меток (1–22) на оцифрованном изображении листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L.

**Fig. 1.** Location of the marks (1–22) on the digitized image of *Acer pseudoplatanus* L.

Дальнейшая обработка проведена с использованием программ серии TPS. Построение усреднённых конфигураций, оценка степени значимости осей относительных деформаций, визуализация тенденций изменения формы, вычисление количественных характеристик «нагрузок» меток на относительные деформации, визуализация деформации ортогональных решёток проведены программой TPS Relative Warps 1.49. Коэффициент шкалирования  $a$  принимали равным нулю.

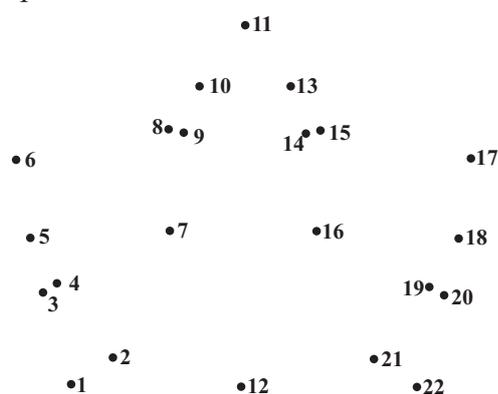
Построение усреднённой конфигурации производится программой TPS Relative Warps 1.49 с использованием метода наименьших квадратов таким образом, чтобы её суммарные отличия от всех экземпляров в выборке были минимальны с учётом положения всех меток [8, 25].

Для оценки различий формы листовой пластинки с учётом внутривыборочной дисперсии использовался F-критерий Гудолла, основанный на анализе прокрустовых расстояний. Вычисление F-критерия Гудолла проведено программой TPSRegr 1.37.

Методологический подход к выполнению исследований по геометрической морфометрии описан в работах И.Я. Павлинова [8, 10], И.Я. Павлинова, Н.Г. Микешинной [25], D.C. Adams et al. [3], P. Mitteroecker, P. Gunz [26].

### Результаты исследований и их обсуждение

Консенсус (усреднённая форма) листовой пластинки *A. pseudoplatanus*, полученный в результате обработки оцифрованных изображений, показан на рис. 2.



**Рис. 2.** Консенсус (усреднённая форма) листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных насаждений г. Донецка.  
**Fig. 2.** Consensus (an averaged form) of leaf blade of *Acer pseudoplatanus* L. in the samples from roadside plantations of Donetsk

Относительные деформации – главные компоненты распределения форм в тангенциальном пространстве. Каждая относительная деформация соответствует некоторому направлению изменения формы относительно эталонной конфигурации, графическим представлением которого может служить деформация тонкой пластины [8].

Степень значимости осей относительной деформации в динамике формы листовой пластинки убывает от первой оси к последней. Первая ось описывает 44,13% изменчивости формы, вторая – 12,01%, третья – 11,43%, четвертая – 7,26%, пятая – 5,25% и т. д. Суммарно первые пять осей описывают 80,08% вариабельности формы листовой пластинки *A. pseudoplatanus*, определяемой 22 метками контура.

Одной из задач геометрической морфометрии является визуализация различий и изменений формы [26]. Расположение образцов в пространстве первых двух осей относительной деформации и тенденции изменения формы листовой пластинки представлены на рис. 3.

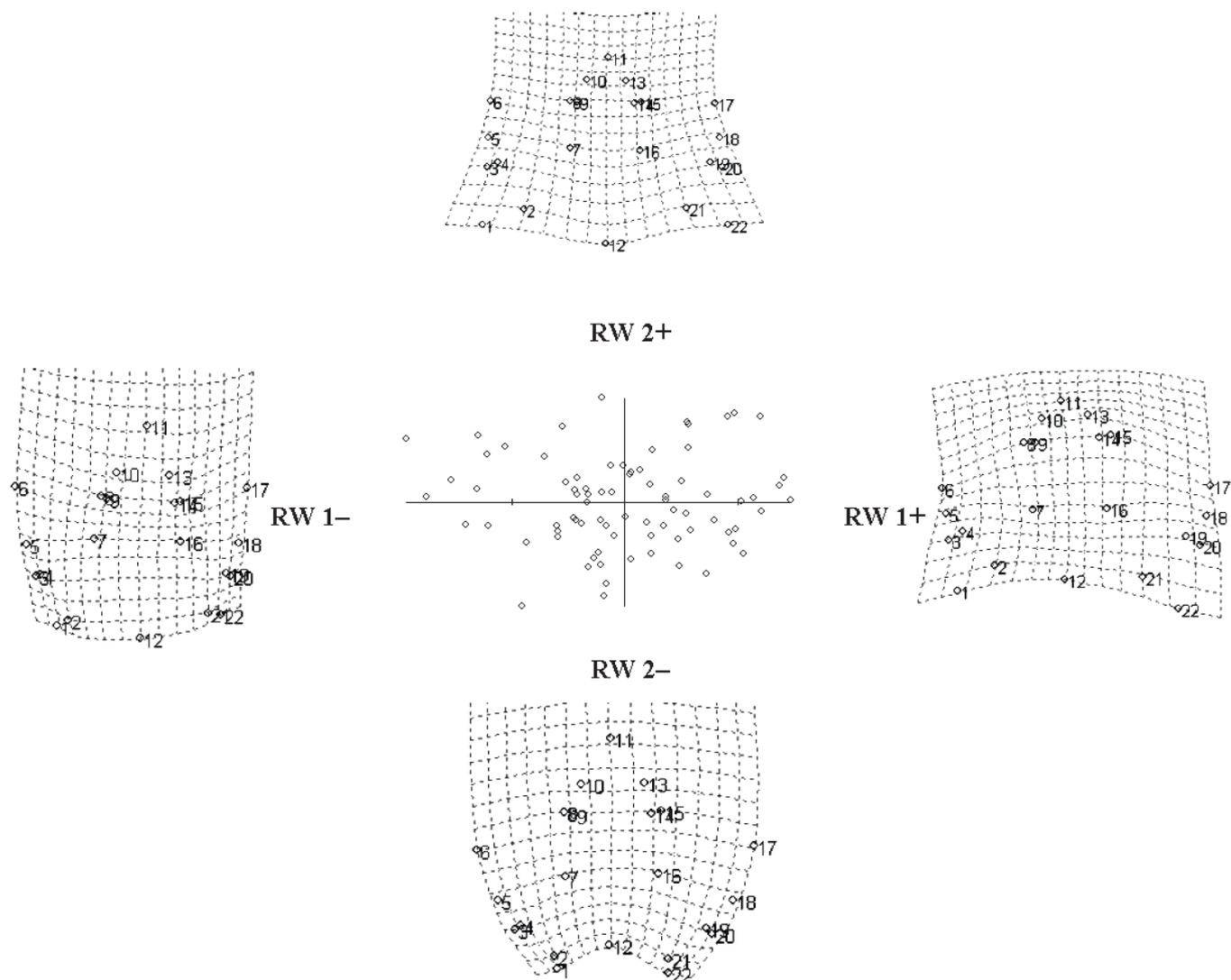
С целью «локализации» отдельных относительных деформаций их соотносят с конкретными метками. Определяемые для каждой метки «нагрузки» на относительные деформации позволяют связать компоненты изменений формы с определёнными частями исследуемых объектов. «Нагрузки» показывают степень значимости вклада каждой конкретной метки в изменения, которые претерпевает консенсус в пространстве относительных деформаций [8].

Характеристики «нагрузок» меток на первые четыре относительные деформации отражены в табл. 1.

Исходя из данных, приведенных в табл. 1, следует отметить, что наибольшую «нагрузку» среди меток дают следующие: на первую относительную деформацию – метки 1, 22; на вторую, третью и четвёртую – 8, 9, 14, 15 (имеет смысл сопоставление значений только в пределах каждой отдельной относительной деформации).

Таким образом, особый вклад в изменение формы листовой пластинки *A. pseudoplatanus* вносят метки 1 и 22, которые соответствуют верхушкам лопастей базальной части листовой пластинки, и метки 8, 9, 14, 15, отвечающие вырезам средней лопасти листовой пластинки (см. рис. 1).

Вклад меток в вариабельность формы показан на рис. 4.



**Рис. 3.** Графическое представление расхождений формы вдоль градиента первой (RW 1) и второй (RW 2) относительных деформаций. Обозначения в виде точек на схеме системы координат отвечают оцифрованным изображениям образцов листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. Точка пересечения осей задаётся положением усреднённой конфигурации. Деформации ортогональной решетки показывают изменения формы листовой пластинки по градиентам первой и второй относительных деформаций. Знаки при обозначениях деформаций («+» и «-») указывают на направление изменений относительно консенсуса.

**Fig. 3.** Graphical representation of shape differences along gradient of the first (RW 1) and second (RW 2) relative deformations. The notation on scheme of coordinate system corresponds to digitized images of specimens of *Acer pseudoplatanus* L. leaf blade. The point of intersection of axes is given by the position of averaged configuration. The deformations of orthogonal grid show changes in the shape of leaf blade along gradients of the first and second relative deformations. Signs in the notation of deformations («+» and «-») indicate the direction of changes with respect to consensus.

Проведено сравнение полученных консенсусов образцов листовой пластинки *A. pseudoplatanus*. Вариабельность формы консенсусов анализируемых выборок, определяемая 22 метками контура, может быть представлена с помощью трёх осей относительной деформации. Первая ось опи-

сывает 51,17%, вторая – 31,80%, третья – 17,03% изменчивости формы.

Расположение консенсусов в пространстве первых двух осей относительной деформации представлено на рис. 5.

Таблица 1. Количественные характеристики «нагрузок» меток на первые четыре относительные деформации (RW 1–4)

Метка	RW 1		RW 2		RW 3		RW 4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	-67,13	-17,45	-37,54	-51,67	-5,09	53,48	-18,06	-0,49
2	57,79	32,42	51,22	61,62	-21,50	-50,04	34,18	-10,93
3	41,05	-22,99	-76,00	-80,17	65,93	64,71	-98,84	59,60
4	-35,89	34,15	73,11	87,03	-32,81	-66,62	96,69	-85,98
5	-1,96	1,14	-7,11	48,11	5,89	-55,00	-28,77	60,67
6	10,25	4,31	23,07	-44,19	-9,41	40,33	64,22	-44,85
7	8,12	-7,00	15,33	-76,79	-17,74	68,81	-35,93	13,69
8	-7,73	-53,28	-184,82	42,80	128,33	-67,96	-328,55	195,30
9	-4,43	40,55	158,61	0,05	-128,38	10,61	309,84	-191,86
10	6,65	17,51	46,59	30,16	-13,26	-1,59	26,49	8,40
11	8,59	-20,12	-11,77	-53,46	-14,46	13,63	-5,61	-34,65
12	1,05	-34,54	-0,96	21,09	-12,68	-14,37	-3,36	-6,83
13	-21,84	17,10	-32,78	24,85	21,11	-1,55	-32,36	40,18
14	25,09	24,57	-166,15	-44,04	208,94	-4,82	-275,63	-91,89
15	-4,02	-36,18	176,33	105,88	-229,72	-17,29	311,81	101,39
16	-8,98	-13,10	-13,59	-78,37	15,73	40,71	17,90	13,44
17	-12,22	-0,96	-8,13	-42,20	38,23	41,91	-54,85	-48,20
18	0,31	7,08	-2,79	19,89	1,84	-52,91	30,05	86,55
19	29,50	23,51	-54,48	66,01	43,49	-47,41	-75,93	-109,58
20	-33,18	-12,81	77,29	-18,93	-77,19	48,31	71,08	39,70
21	-53,95	37,69	-45,28	58,21	52,36	-33,76	-11,06	-7,85
22	62,91	-21,59	19,85	-75,89	-19,60	30,80	6,69	14,18

Примечание. RW 1–4 – первые четыре относительные деформации; x – «нагрузка» метки по оси абсцисс; y – «нагрузка» метки по оси ординат.

Исходя из взаимного расположения обозначений консенсусов на рис. 5, следует отметить, что первая ось относительной деформации, являющаяся наиболее значимой, позволяет разделить анализируемые консенсусы на две группы. В одной группе – консенсусы выборок территории Донецкого ботанического сада и придорожных насаждений автодорог с минимальной (из числа выделяемой нами) нагрузкой автотранспорта, в другой – консенсусы выборок придорожных насаждений автодорог с интенсивностью движения 700–800 авт./час и интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.

Результаты оценки различий формы листовой пластинки *A. pseudoplatanus* исследуемых выборок с учётом внутривыборочной дисперсии приведены в табл. 2.

Выявлены статистически достоверные различия формы листовой пластинки всех сравниваемых выборок. Исходя из значений F-критерия Гудолла (см. табл. 2), наибольшие отличия формы листовой пластинки *A. pseudoplatanus* отмечены при сравнении выборок территории Донецкого

ботанического сада и придорожных насаждений автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.

Таким образом, можно утверждать о влиянии интенсивности автотранспортного потока на форму листовой пластинки *A. pseudoplatanus* в условиях придорожных насаждений города. Изменения формы могут быть как результатом нарушения процессов развития листовой пластинки, так и отражением онтогенетической тактики, используемой исследуемым видом в менее благоприятных условиях произрастания.

#### Выводы

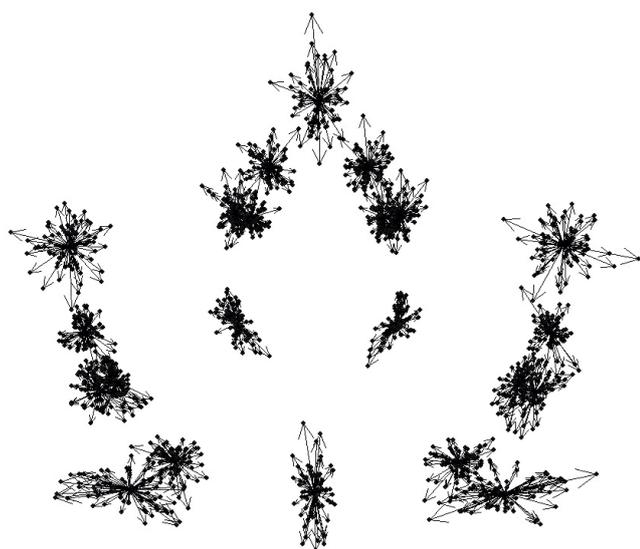
1. В условиях придорожных насаждений в вариативность формы листовой пластинки *A. pseudoplatanus* значительный вклад вносят метки, которые соответствуют верхушкам лопастей базальной части, и метки, отвечающие вырезам средней лопасти листовой пластинки.

2. Выявлены статистически достоверные различия формы листовой пластинки всех сравниваемых выборок. Установлено влияние интенсивности автотранспортного потока на форму листо-

Таблица 2. Оценка различий формы листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. исследуемых выборок с учётом внутривыборочной дисперсии

Анализируемые выборки	I	II	III	IV
I	–	8,6042 0,0000	7,8473 0,0000	5,4926 0,0000
II	–	–	5,7445 0,0000	4,4225 0,0000
III	–	–	–	4,1681 0,0000
IV	–	–	–	–

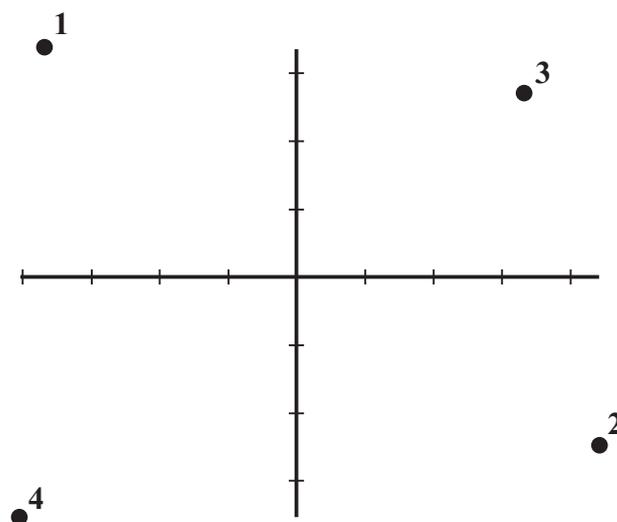
Примечания: 1) I – территория Донецкого ботанического сада, II-IV – придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения: II – свыше 1200 авт./час; III – 700–800 авт./час; IV – 600–700 авт./час; 2) числа в верхней части ячеек отражают значение F-критерия Гудолла, в нижней – уровень значимости P.



**Рис. 4.** Вклад меток в вариабельность формы листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. придорожных насаждений города: векторами обозначены направление и степень отклонения расположения меток от усреднённой формы (консенсуса) листовой пластинки.

**Fig. 4.** The contribution of every mark to shape variability in *Acer pseudoplatanus* L. leaf blade samples from roadside plantations.

The vectors indicate direction and degree of deviation of mark location from the average shape (consensus) of leaf blade.



**Рис. 5.** Графическое представление расхождений консенсусов образцов листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. вдоль градиента первой (ось абсцисс) и второй (ось ординат) относительных деформаций.

Обозначения на схеме системы координат отвечают консенсусам четырёх анализируемых выборок: 1 – территория Донецкого ботанического сада, 2–4 – придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения: 2 – свыше 1200 авт./час; 3 – 700–800 авт./час; 4 – 600–700 авт./час. Точка пересечения осей задаётся положением усреднённой конфигурации для четырёх консенсусов.

**Fig. 5.** A graphical representation of discrepancies in consensus of *Acer pseudoplatanus* L. leaf blade samples along gradient of the first (abscissa axis) and second (ordinate axis) relative deformations.

The notation on scheme of coordinate system corresponds to consensus of four analyzed samples: 1 – Donetsk Botanical Garden territory; 2–4 – roadside plantations of motorways with a traffic intensity of: 2 – over 1200 auto/hour; 3 – 700–800 auto/hour; 4 – 600–700 auto/hour. The point of intersection of axes is given by position of averaged configuration for four consensuses.

вой пластинки *A. pseudoplatanus* придорожных насаждений города. Максимальное различие формы отмечено при сравнении выборок территории Донецкого ботанического сада, принятой в качестве условного контроля, и придорожных насаждений автодорог с интенсивностью движения автотранспорта свыше 1200 авт./час.

1. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Бондарева Л.М., Кирильчук К.С. Концепция морфометрии у современной ботаники // Черноморский ботанический журнал. 2009. Т. 5, N 1. С. 5–22.  
*Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Bondareva L.M., Kirilchuk K.S. Kontseptsiya morfometrii u suchasniy botanitsi [The morphometric concept in modern botany] // Chornomorski Botanical Journal. 2009. Vol. 5(1). P. 5–22.*
2. Глухов А.З., Николаева А.В., Стрельников И.И. Опыт компьютеризированной обработки изображений листовых пластинок при изучении экологической пластичности // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира: материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Центрального ботанического сада НАН Беларуси (Минск, 6–8 июня 2017 г.). Минск, 2017. С. 59–62.  
*Glukhov A.Z., Nikolaeva A.V., Strelnikov I.I. Opyt kompyuterizirovannoy obrabotki izobrazheniy listovykh plastinok pri izuchenii ekologicheskoy plastichnosti [An experience of computerized image processing of leaf blades in the study of environmental plasticity] // The role of botanical gardens and arboreta in the conservation, study and sustainable use of plant diversity: materials of International Scientific Conference on the 85th anniversary of Central Botanical Garden of National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, June 6–8, 2017). Minsk, 2017. P. 59–62.*
3. Adams D.C., Rohlf F.J., Slice D.E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'Revolution' // Italian Journal of Zoology. 2004. Vol. 71. P. 5–16. [Electronic resource]. URL: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/review/review.html>.
4. Bookstein F.L. Size and shape spaces for landmark data in two dimensions // Statistical Science. 1986. Vol. 1(1). P. 181–242.
5. Bookstein F.L. Morphometric tools for landmarks data. New York: Cambridge University Press. 1991. 435 p.
6. Rohlf F.J. Relative warps analysis and example of its application to mosquito wings. Contributions to morphometrics. Madrid, 1993. P. 131–160.
7. Павлинов И.Я. Разнообразие формы: новые подходы // Стратегия изучения биоразнообразия наземных животных. М., 1995. С. 44–50.  
*Pavlinov I.Ya. Raznoobrazie formy: novye podkhody [Variety of the shape: new approaches] // Strategy of studying terrestrial animals biodiversity. Moscow, 1995. P. 44–50.*
8. Павлинов И.Я. Геометрическая морфометрия – новый аналитический подход к сравнению компьютерных образов // Информационные и телекоммуникационные ресурсы в зоологии и ботанике. СПб., 2001. С. 65–90.  
*Pavlinov, I.Ya. Geometricheskaya morfometriya – novy analitichesky podkhod k sravneniyu kompyuternykh obrazov [Geometric morphometry – a new analytical approach to comparison of computer images] // Information and telecommunication resources in zoology and botany. Saint-Petersburg, 2001. P. 65–90.*
9. Павлинов И.Я. Анализ изменчивости формы третьего верхнего коренного у скальных полевок рода *Alticola* (Cricetidae) методами геометрической морфометрии // Зоол. журн. 1999. Т. 78, N 1. С. 78–83.  
*Pavlinov I.Ya. Analiz izmenchivosti formy tretyego verkhnego korennoy u skalnykh polevok roda Alticola (Cricetidae) metodami geometricheskoy morfometrii [Analysis of variability of shape of third upper root in high-mountain voles of the genus Alticola (Cricetidae) by geometric morphometry methods] // Zool. Journal. 1999. Vol. 78(1). P. 78–83.*
10. Павлинов И.Я. Геометрическая морфометрия черепа мышевидных грызунов (Mammalia, Rodentia): связь формы черепа с пищевой специализацией // Журн. общ. биол. 2000. Т. 61, N 6. С. 583–600.  
*Pavlinov I.Ya. Geometricheskaya morfometriya cherepa myshevidnykh gryzunov (Mammalia, Rodentia): svyaz formy cherepa s pishvoy specializatsiyey [Geometric morphometry of skull of mouse-like rodents (Mammalia, Rodentia): connection of shape of skull with food specialization] // Journal Society Biol. 2000. Vol. 61(6). P. 583–600.*

11. *Стаковецкая О.К.*, Куликова Н.А., Советова Е.С. Оценка экологического состояния воздушной среды методами биоиндикации. 2012. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Ecologia/6\\_106476.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm).  
*Stakovetskaya O.K.*, Kulikova N.A., Sovetova E.S. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vozduшной sredey metodami bioindikatsii [Estimation of ecological state of air environment using bioindication methods]. 2012. [Electronic resource]. URL: [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Ecologia/6\\_106476.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm).
12. *Givnish T.J.* Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment // Acta Biotheoretica (Supplement: Folia Biotheoretica N 7). 1978. Vol. 27. P. 83–142.
13. *Исаков В.Н.*, Висковатова Л.И., Лейшовник Я.Я. Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. Рига: Зинатне, 1984. 196 с.  
*Isakov V.N.*, Viskovatova L.I., Leyshovnik Ya.Ya. Issledovanie morfologii lista drevesnykh sredstvami avtomatizatsii [Investigation of leaf morphology by means of automation]. Riga: Zinatne, 1984. 196 p.
14. *Андреева М.В.* Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2007. 20 с.  
*Andreeva M.V.* Otsenka sostoyaniya okruzhayushchey sredey v nasazhdeniyakh v zonakh promyshlennykh vybrosov s pomoshchyu rasteniy-indikatorov: avt.dis.... kand.s-kh. nauk [Assessment of state of environment in plantations in zones of industrial emissions with the help of plant-indicators: abstract of the thesis for conferring the degree of candidate in agricultural sciences]. St. Petersburg, 2007. 20 p.
15. *Niinemets Ü.*, Portsmouth A., Tobias M. Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation? // Functional Ecology. 2007. Vol. 21. P. 28–40.
16. *Мигалина С.В.*, Иванова Л.А., Махнев А.К. Размеры листа берёзы как индикатор её продуктивности вдали от климатического оптимума // Физиол. раст. 2009. Т. 56. N 6. С. 948–953.  
*Migalina S.V.*, Ivanova, L.A., Makhnev A.K. Razmery lista berezy kak indikator ee produktivnosti vdali ot klimaticheskogo optimuma [Dimensions of birch leaf as an indicator of its productivity far from the climatic optimum] // Physiology of Plants. 2009. Vol. 56(6). P. 948–953.
17. *Vogel S.* Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape // New Phytologist. 2009. Vol. 183. P. 13–26.
18. *Зайцева И.О.* Біоекологічні механізми адаптації деревних інтродуцентів у степовій зоні України: автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Дніпропетровськ, 2012. 40 с.  
*Zaitseva I.O.* Bioekologichni mekhanizmy adaptatsii derevnykh introdutsentiv u stepoviy zoni Ukraini: avt.dis. ... d-ra biol. nauk [Bioecological mechanisms of introduced trees' adaptation in steppe zone of Ukraine: abstract of the thesis for conferring the doctor degree in biological sciences]. Dnepropetrovsk, 2012. 40 p.
19. *Givnish T.J.* Leaf and canopy adaptations in tropical forests // Physiological ecology of plants of the wet tropics. 1984. P. 51–84.
20. *Niinemets Ü.*, Kull O., Tenhunen J.D. Variability in leaf morphology and chemical composition as a function of canopy light environment in coexisting deciduous trees // International Journal of Plant Sciences. 1999. Vol. 160. P. 837–848.
21. *Хузина Г.Р.* Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Удмурдского университета. Сер. Биол. 2010. Вып. 3. С.53–57.  
*Khuzina G.R.* Vliyanie urbanosredey na morfometricheskie pokazateli lista berezy povisloy (*Betula pendula* Roth) [Influence of urban environment on morphometric parameters of birch leaf layer (*Betula pendula* Roth)] // Bulletin of the Udmurt University. Biology. 2010. Vol. 3. P. 53–57.
22. *Поляков А.К.* Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк: Ноулидж, 2009. 269 с.  
*Polyakov A.K.* Introduktsiya drevesnykh rasteniy v usloviyakh tekhnogennoy sredey [Introduction of woody plants in conditions of anthropogenic environment]. Donetsk: Noulig, 2009. 269 p.
23. *Смирнова О.В.*, Заугольнова Л.Б., Таронова Н.А., Фаликов Л.Д. Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у рас-

- тений различных биоморф. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М.: Наука, 1976. Ч. I. С. 14–43.
- Smirnova O.V., Zaigolnova L.B., Taronova N.A., Falikov L.D.* Kriterii vydeleniya vozrastnykh sos-toyaniy i osobennosti khoda ontogeneza u rasteniy razlichnykh biomorf. Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura [Criteria for differentiation between age conditions and features of ontogenesis in plants of different biomorphs]. Moscow: Nauka, 1976. Part I. P. 14–43.
24. *Капранов С.В.* Автотранспорт, воздух и здоровье. Луганск: Лад, 1998. 200 с.
- Kapranov S.V.* Avtotransport, vozdukh i zdorovye [Motor transport, air and health]. Lugansk: Lado, 1998. 200 p.
25. *Павлинов И.Я., Микешина Н.Г.* Принципы и методы геометрической морфометрии // Журн. общ. биол. 2002. Т. 63. № 6. С. 473–493.
- Pavlinov I.Ya., Mikeshina N.G.* Printsipy i metody geometricheskoy morfometrii [Principles and methods of geometric morphometry] // Journal Society Biol. 2002. Vol. 63(6). P. 473–493.
26. *Mitteroecker P., Gunz P.* Advances in geometric morphometrics // Evol. Biol. 2009. Vol. 36(2). P. 235–247.

Поступила в редакцию: 16.05.2018

UDC 581.4:581.5:582.091

**THE EVALUATION OF SHAPE VARIATION IN THE LEAF BLADE OF *ACER PSEUDOPLATANUS* L. IN ROADSIDE STANDS OF DONETSK CITY**

**Yu.A. Shtirts**

*Public Institution «Donetsk Botanical Garden»*

Using geographic morphometry methods, variation in the leaf blade of *Acer pseudoplatanus* L. was evaluated in roadside plantings along motorways with different traffic intensity. In the course of investigation, the influence of traffic intensity on leaf shape was revealed for the examined species. The marks corresponding to lamina tops of basal leaf part and those associated with indents in the medium lamina contributed most into variability of leaf lamina form.

**Key words:** geometric morphometry, leaf blade, *Acer pseudoplatanus*, relative deformations, roadside stands, consensus