



УДК 574.2:57.018.634.722:581.4

Ю. А. Штирц

**ПСЕВДОСИММЕТРИЯ ФОРМЫ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POPULUS NIGRA* L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ ДОНБАССА***Донецкий ботанический сад НАН Украины**e-mail: strelkova@i.ua*

Проведена оценка изменчивости псевдосимметрии формы листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях различных экосистем. Данный показатель варьирует от 0,5485 до 0,9796. Для подавляющей части анализируемых выборок характерно преобладание листовых пластинок с показателями псевдосимметрии более 0,9000. Значения данного показателя статистически достоверно ниже для листовых пластинок отвалов вскрышных пород. При сравнении выборки листьев *P. nigra* городского парка с выборкой листьев отвалов угольных шахт статистически достоверных различий по данному показателю не выявлено. Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки характеризуется низкими значениями варьирования – коэффициент вариации составляет менее 10,0%.

*Ключевые слова: древесные растения, листовая пластинка, изменчивость, Populus nigra L., псевдосимметрия, фитоиндикация*

Ю. О. Штірц

**ПСЕВДОСИМЕТРИЯ ФОРМЫ ЛИСТКОВОЇ ПЛАСТИНКИ *POPULUS NIGRA* L. В УМОВАХ ПРОМІСЛОВИХ ВІДВАЛІВ ДОНБАСУ***Донецький ботанічний сад НАН України**e-mail: strelkova@i.ua*

Проведено оцінку мінливості псевдосиметрії форми листкової пластинки *Populus nigra* L. в умовах різних екосистем. Даний показник варіює від 0,5485 до 0,9796. Для більшої частини аналізованих вибірок характерна перевага листових пластинок з показниками псевдосиметрії більше 0,9000. Значення даного показника статистично вірогідно нижче для листових пластинок відвалів розкривних порід. При порівнянні вибірки листків *P. nigra* міського парку з вибіркою листків відвалів вугільних шахт статистично достовірної різниці за даним показником не виявлено. Показник псевдосиметрії форми листкової пластинки характеризується низькими значеннями варіювання – коефіцієнт варіації становить менше 10,0%.

*Ключові слова: деревні рослини, листкова пластинка, мінливість, Populus nigra L., псевдосиметрія, фитоіндикація*

Yu. A. Shtirts

**PSEUDOSYMMETRY OF THE LEAF BLADE SHAPE IN *POPULUS NIGRA* L. UNDER INDUSTRIAL DUMP CONDITIONS***Donetsk Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine*

The article presents results of variability of pseudosymmetry index of the leaf blade shape in *Populus nigra* L. in different ecosystems. This index varied from 0,5485 to 0,9796. Leaf blades with indices of pseudosymmetry more than 0,9000 were typical for overwhelming part of analyzed samplings. The index values were significantly lower for the leaf blades of overburden rock dumps. We did not registered differences of index when compared sampling of *P. nigra* blades of urban park with sampling of the blades of coalmine dumps. The index of pseudosymmetry of leaf blade shape was characterized by low variation (CV was less than 10,0%).

*Key words:* wood plants, leaf blade, variability, *Populus nigra* L., pseudosymmetry, fitoindication

Древесные растения выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции, связанные с выделением кислорода и фитонцидов, ионизацией воздуха, формированием своеобразного микроклимата, а также играют санитарно-гигиеническую роль, поглощая токсичные газы и накапливая вредные вещества. Зеленые насаждения, произрастающие в условиях техногенных территорий, испытывают на себе постоянное влияние неблагоприятных факторов среды. В этих условиях важным свойством древесных растений становится их способность сохранять устойчивость и адаптироваться через изменение строения и функций к изменяющимся условиям среды, что дает им возможность выживать при нарастающем антропогенном экологическом стрессе (Стаковецкая и др., 2012). Этим обусловлена их фитоиндикационная способность. К настоящему времени накопилось довольно много информации об индикаторной роли древесных растений (Андреева, 2007; Оценка ..., 2011; Спосіб ..., 2011; Опекунова, 2012; Рамазанова, Асадулаев, 2012). Для характеристики достаточно больших территорий предпочтительнее использовать древесные растения, чем травянистые, так как последние в большей степени могут отражать микробиотопические условия (Здоровье среды ..., 2000). Листья являются наиболее чувствительными к условиям окружающей среды органами растений, под влиянием различных факторов в них происходят морфологические изменения (Стаковецкая и др., 2012). По мнению многих авторов, изменение морфологии листьев одного и того же вида связано со сменой условий его произрастания (Givnish, 1978; Исаков и др., 1984; Здоровье среды ..., 2000; Андреева, 2007; Бухарина и др., 2007; Niinemets et al., 2007; Бессонова, 2009; Мигалина и др., 2009; Vogel, 2009; Нижегородцев, 2010; Хузина, 2010; Жуков и др., 2011; Штирц, 2011, 2012а, 2012б; Зайцева, 2012 и др.). Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы (Мигалина и др., 2009). 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 (Исаков и др., 1984).

Одной из фундаментальных проблем в современной биологии является проблема симметрии (асимметрии). Симметричным называется объект, который состоит из частей, равных относительно какого-либо признака (Статистический анализ ..., 2004). Симметрия представляет собой фундаментальную особенность природы, охватывающую все формы движения и организации материи. Она представляет собой понятие, характеризующее переход объектов в самих себя или друг в друга при осуществлении над ними определенных преобразований; в широком плане – свойство неизменности (инвариантности) некоторых сторон, процессов и отношений объектов относительно некоторых преобразований (Нижегородцев, 2010). В природе чаще всего встречаются лишь приблизительно симметричные объекты, об инвариантности которых относительно операций симметрии также можно говорить лишь приблизительно (Статистический анализ ..., 2004).

Целью исследований являлось установить изменчивость псевдосимметрии формы листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях двух типов промышленных отвалов: породных отвалов угольных шахт и отвалов вскрышных пород.

*P. nigra* встречается в биотопах различных типов, что даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость листовой пластинки в условиях различных экологических факторов и в дальнейшем оценить перспективность применения данного вида в качестве биоиндикатора состояния окружающей среды. Данный вид проявляет также высокую степень устойчивости в условиях города (Поляков, 2009). Следует отметить существенную роль *P. nigra* как эдификатора в условиях трансформированных экосистем (Штирц, Штирц, 2004), поэтому изучение различных аспектов его морфологической изменчивости как проявление устойчивости является актуальной задачей.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Сбор листьев осуществляли в летние периоды 2010–2012 гг. с укороченных побегов нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода. Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О. В. Смирновой и др. (Критерии ..., 1976). Местами сбора листьев являлись породный отвал шахты № 6–14 в г. Макеевка, породный отвал № 1 шахты Чулковка № 8 в г. Донецк, ряд отвалов вскрышных пород Докучаевского флюсо-доломитного комбината Донецкой области.

Экотопы породных отвалов угольных шахт характеризуются кислой реакцией субстратов, отвалы Докучаевского флюсо-доломитного комбината – щелочной реакцией. По механическому составу, плодородию, засолённости

эдафотопов для указанных отвалов отмечена высокая степень сходства (Жуков, 2011).

Для сравнения анализируемых параметров листовых пластинок *P. nigra*, произрастающих в условиях отвалов, с параметрами листовых пластинок данного вида из менее трансформированных экосистем, были собраны листья на территории Центрального парка культуры и отдыха им. Щербакова в г. Донецк, которая была нами принята в качестве условного контроля.

Листья были отсканированы при помощи сканера *Epson Perfection V33*. Объем выборки составил в условиях породных отвалов угольных шахт 380 листовых пластинок, отвалов вскрышных пород – 307, городского парка – 264 листовые пластинки.

С целью оценки симметричности листовой пластинки использована программа для расчета степени псевдосимметрии относительно зеркального отражения для плоских билатерально симметричных объектов – *Biological Pseudosymmetry (BioPs)* – биологическая псевдосимметрия.

Оценка псевдосимметрии в этом случае основана на выражении интегральной свёртки:

$$\eta = \frac{\sum_{i,j} A_{i,j} \cdot B_{i,j}}{\sum_{i,j} A_{i,j}^2},$$

где  $\eta$  – степень симметричности,  $A$  – матрица яркостей исходного изображения,  $B$  – матрица яркостей, полученная в результате отражения матрицы  $A$  относительно выбранной плоскости.

Так как мы имеем дело с суммой положительных чисел, задающих яркости пикселей, то диапазон изменения степени симметрии лежит в пределах от нуля (для полностью несимметричного объекта) до единицы (для абсолютно симметричного). При расчёте степени псевдосимметрии реализован подход без учёта яркостей пикселей, при этом неоднородности внутри объекта не учитываются. Яркость пикселей фона равна 0, а яркость пикселей объекта равна 255. Другими словами, для программы объект выглядит как белое пятно на чёрном фоне, с проведенной через него (объект) плоскостью симметрии (Нижегородцев, 2010). Таким образом, учитывалась степень инвариантности по конгруэнтности (форме) без учёта степени яркости окраски листа. Плоскость отражения была выбрана по нескольким точкам центральной жилки.

Оценка достоверности различий сравниваемых параметров проведена с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Расчёт значений коэффициента вариации проводили по формулам, приведенным в работе Г. Ф. Лакина (1990). Статистическая обработка данных проведена с применением пакета *STATISTICA 6.0*.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок варьирует от 0,5485 до 0,9796. Листовые пластинки с минимальным и максимальным значениями показателя отражены на рис. 1.

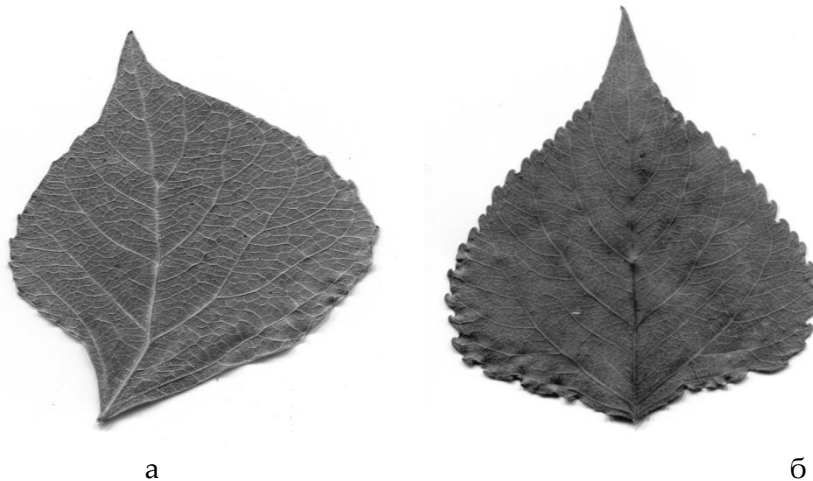


Рис. 1. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с минимальным и максимальным значениями показателя псевдосимметрии формы: а) с минимальным значением (0,5485); б) с максимальным значением (0,9796).

#### Породные отвалы угольных шахт.

Показатель псевдосимметрии листовой пластинки варьирует от 0,7119 до 0,9796, размах вариации составляет 0,2677, коэффициент вариации – 4,55%, среднее значение –  $0,9267 \pm 0,00421$ . Листовые пластинки со значением показателя псевдосимметрии 0,7000 – 0,7999 составляют 2,1% всей выборки, со значениями 0,8000–0,8999 – 13,2%, 0,9000 и более – 84,7% (рис. 2).

#### Отвалы вскрышных пород.

Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки варьирует от 0,5485 до 0,9681, размах вариации составляет 0,4196, коэффициент вариации – 7,0%, среднее значение –  $0,9097 \pm 0,00714$ . Листовые пластинки со значением показателя псевдосимметрии менее 0,6000 составляют 0,9% выборки, 0,6000 – 0,6999 – 1,7%, 0,7000 – 0,7999 составляют 1,7% всей выборки, со значениями 0,8000–0,8999 – 24,8%, 0,9000 и более – 70,9% (рис. 2).

#### Центральный парк культуры и отдыха им. Щербакова.

Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки варьирует от 0,7792 до 0,9673, размах вариации составляет 0,1881, коэффициент вариации – 3,71%, среднее значение –  $0,9268 \pm 0,00417$ . Листовые пластинки со значением

показателя псевдосимметрии 0,7000 – 0,7999 составляют 1,2% всей выборки, со значениями 0,8000–0,8999 – 14,5%, 0,9000 и более – 84,3% (рис. 2).

Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки статистически достоверно различается при проведении сравнений выборки листьев отвалов вскрышных пород с двумя другими анализируемыми выборками. В результате сравнения показателя псевдосимметрии выборки листьев *P. nigra* городского парка и отвалов угольных шахт статистически достоверных различий не выявлено (табл. 1).

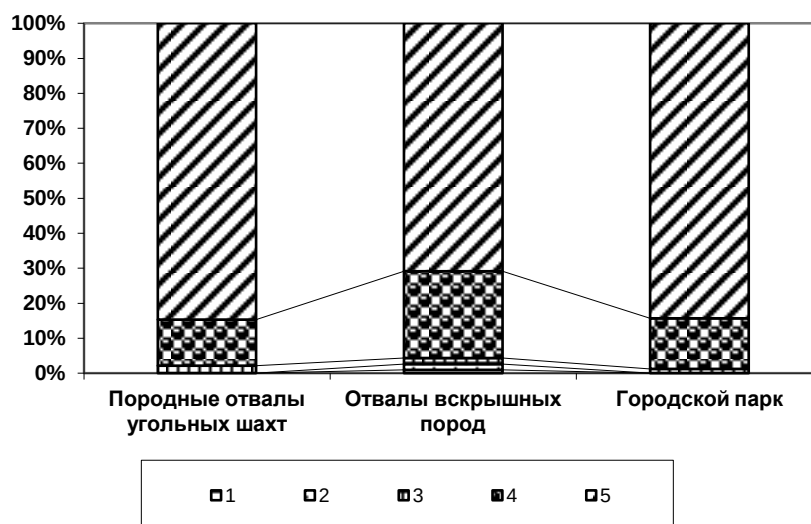


Рис. 2. Распределение листовых пластинок *Populus nigra* L. в выборках, взятых из различных экосистем, соответственно значению показателя псевдосимметрии формы: 1) менее 0,6000; 2) 0,6000–0,6999; 3) 0,7000–0,7999; 4) 0,8000–0,8999; 5) 0,9000 и более.

Таблица 1. Оценка достоверности различий показателя псевдосимметрии формы листовой пластинки *Populus nigra* L.

| Места сбора листьев           | Породные отвалы угольных шахт                                                                            | Отвалы вскрышных пород | Городской парк |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|
|                               | доверительный интервал для среднего значения показателя степени псевдосимметрии формы листовой пластинки |                        |                |
|                               | P = 0,05                                                                                                 |                        |                |
|                               | 0,937 ± 0,004                                                                                            | 0,909 ± 0,007          | 0,923 ± 0,004  |
| Породные отвалы угольных шахт | -                                                                                                        | 0,01*                  | 0,98           |





|                              |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Отвалы<br>вскрышных<br>пород | 0,01* | -     | 0,03* |
| Городской парк               | 0,98  | 0,03* | -     |

\*результаты статистически значимы.

Выборка листовых пластинок *P. nigra* отвалов вскрышных пород характеризуется минимальным значением показателя псевдосимметрии, что, возможно, связано со щелочной реакцией почвы данной категории отвалов.

### Выводы

1. Значения показателя псевдосимметрии формы листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок варьируют от 0,55 до 0,98. Для подавляющей части всех анализируемых выборок характерно наличие листовых пластинок с показателями псевдосимметрии более 0,9.

2. Определенные нами значения показателя псевдосимметрии формы были достоверно ниже у листовых пластинок отвалов вскрышных пород. При сравнении выборки листьев *P. nigra* городского парка и отвалов угольных шахт статистически достоверных различий по данному показателю не выявлено.

3. В данных условиях показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки характеризуется низкой вариабельностью – значения коэффициента вариации составляют менее 10,0%.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Андреева М. В. Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство, лесные пожары и борьба с ними». – СПб., 2007. – 20 с.

Бессонова Н. В. Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске // Леса России в XXI веке: матер. I междунар. науч.-практ. интернет-конф. (июль 2009 г.). – СПб.: ЛТА, 2009. – С. 11–13.

Бухарина И. Л., Поварницина Т. М., Ведерников К. Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной бреде. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.

Жуков А. В., Штирц Ю. А., Жуков С. П. Оценка методами геометрической морфометрии морфологической изменчивости листовых пластинок *Betula*

pendula Roth в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – С. 128–134.

Жуков С. П. Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – С. 230–234.

Зайцева І. О. Біоекологічні механізми адаптації деревних інтродуцентів у степовій зоні України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія». – Дніпропетровськ, 2012. – 40 с.

Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 66 с.

Исаков В. Н., Висковатова Л. И., Лейшовник Я. Я. Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. – Рига: Зинатне, 1984. – 196 с.

Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф / Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Таронова Н. А., Фаликов Л. Д. // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М.: Наука, 1976. – Ч. I. – С. 14–43.

Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

Мигалина С. В., Иванова Л. А., Махнев А. К. Размеры листа берёзы как индикатор её продуктивности вдали от климатического оптимума // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 6. – С. 948–953.

Нижегородцев А. А. Псевдосимметрия растительных объектов как биоиндикационный показатель: теоретическое обоснование, автоматизация оценок, апробация: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец. 03.02.08 «Экология». – Нижний Новгород, 2010. – 24 с.

Опекунова М. Г. Применение древесных растений в геоэкологическом мониторинге состояния техногенных экосистем // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: матер. IX Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (г. Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г.). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ, 2012. – С. 184–190.

Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере г. Донецка) / Глухов А. З., Штирц Ю. А., Демкович А. Е., Жуков С. П. // Промислова ботаніка: зб. наук. праць. – Донецьк: Донецький ботанічний сад НАН України, 2011. – С. 90–96.

Поляков А. К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2009. – 268 с.





Рамазанова З. Р., Асадулаев З. М. Морфолого-анатомические показатели побеговых систем *Celtis caucasica* Willd. в условиях города Махачкалы // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: матер. IX Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (г. Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г.). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ, 2012. – С. 209–214.

Спосіб фітотестування техногенних екотопів / Глухов О. З., Жуков С. П., Агурова І. В., Прохорова С. І., Штірц Ю. О. Патент 70512 UA, МПК A01G7/00. – Патент на корисну модель № u 201115376; Заявл. 26.12.11, Опубл. 11.06.12. – Бюл. № 11.

Стаковецкая О. К., Куликова Н. А., Советова Е. С. Оценка экологического состояния воздушной среды методами биоиндикации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Ecologia/6\\_106476.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm)

Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* / Гелашвили Д. Б., Якимов В. Н., Логинов В. В., Епланова Г. В. // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: сб. науч. трудов. – Тольятти, 2004. – Вып. 7. – С. 45–59.

Хузина Г. Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Удмурдского университета. Сер. Биол. – 2010. – Вып. 3. – С. 53–57.

Штирц Ю. А. Варьирование размера листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем города Донецка // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: матер. VII Междунар. науч. конф. (г. Минск, 26–28 октября 2011 г.). – Минск: Право и экономика, 2011. – С. 228.

Штирц Ю. А. Варьирование размеров листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов Донецкой области // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: матер. IX Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (г. Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г.). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ, 2012. – С. 305–310.

Штирц Ю. А. Оценка изменчивости верхушки и основания листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов // Промислова ботаніка: зб. наукових праць. – Донецьк: Донецький ботанічний сад НАН України, 2012. – Вип. 12. – С. 31–36.

Штирц Ю. А., Штирц А. Д. Консортивные связи птиц с древесными автотрофами в условиях урбанизированного ландшафта Донбасса // Вісник Донецького університету. Сер. А.: Природн. науки. – 2004. – Вип. 1. – Ч. 2. – С. 411–416.

Givnish T. J. Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment // *Acta Biotheor.* – 1978. – Vol. 27. – P. 83–142.

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 // *Funct. Ecol.* – 2007. – Vol. 21. – P. 28–40.  
Vogel S. Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape // *New Phytologist.* – 2009. – 183. – P. 13–26.

## REFERENCES

- Andreeva, M.V. (2007). Environmental assessment in plantations exposed to industrial emissions using plant indicators: Published summary of a doctoral thesis, St. Petersburg.
- Bessonova, N.V. (2009). The use of biological indication method to assess the environmental state of various sites in the city of Khabarovsk. In: Proceedings of the I International Scientific-Practical Internet Conference 'Forests of Russia in the XXI century'. LTA, St. Petersburg, 11-13.
- Bukharina, I.L., Povarnitsina, T.M., Vedernikov, K.E. (2007). Ecological and biological characteristics of trees in urban environment. Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk.
- Gelashvili, D.B., Yakimov, V.N., Loginov, V.V., Yeplanova, G.V. (2004). Statistical analysis of fluctuating asymmetry in bilateral features of stepperunner *Eremias arguta*. In: Actual problems of herpetology and toxinology. Proceedings. 7, 45-59.
- Givnish, T.J. (1978). Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment. *Acta Biotheoretica.* 27, 83-142.



- Glukhov, A.Z., Shtirts, Yu.A., Demkovich, A.E., Zhukov, S.P. (2011). The assessment of the display of fluctuating asymmetry of bilateral features of *Acer pseudoplatanus* L. leaves in conditions of roadside ecosystems in the industrial city (on the example of Donetsk). *Industrial Botany*. 11, 90-96.
- Glukhov, A.Z., Zhukov, S.P., Agurova, I.V., Prokhorova, S. I., Shtirts, Yu.A. (2012). The method of phytotesting of technogenic ecotops. The Patent 70512 of Ukraine. Application № u 201115376, on 26.12.2011, the MPK A01G7/00 Bull. Number 11, 11.06.2012.
- Isakov, V.N., Viskovatova, L.I., Leyshovnik, Ya.Ya. (1984). Leaf morphology study in woody plants by means of automatic facilities. *Zinatne*, Riga.
- Khuzina, G.R. (2010). The influence of urban environment on morphometric data of birch (*Betula pendula* Roth) leaves. *Bulletin of Udmurtia University. Biological Series*. 3, 53-57.
- Lakin, G.F. (1990). *Biometrics: a manual for students of biology*. Vysshaya Shkola, Moscow.
- Migalina, S.V., Ivanova, L.A., Makhnev, A.K. (2009). Birch leaf size as an indicator of the species productivity far away from its climatic optimum. *Plant Physiology*. 56 (6), 948-953.
- Niinemets, Ü., Portsmouth, A., Tobias, M. (2007). Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a

neglected source of leaf physiological differentiation. *Functional Ecology*. 21, 28-40.

Nizhegorodtsev, A.A. (2010). Pseudosymmetry of plant objects as bioindication index: a theoretical background, automatization of assessments, testing.

Published summary of a doctoral thesis. Nizhniy Novgorod.

Opekunova, M.G. (2012). The application of wood plants in geoecological monitoring of a state of technogenic ecosystems. Proceedings of IX All-Russian Scientific Conference with Foreign Partnership 'Biological recultivation and monitoring of disturbed lands'. Ural University Press, Ekaterinburg, 184-190.

Polyakov, A.K. (2009). The introduction of wood plants in conditions of the technogenic environment. Noulidzh. Donetsk.

Ramazanov, Z.R., Asadulaev, Z.M., (2012). The morpho-anatomic parameters of rod systems *Celtis caucasica* Willd. in conditions of Makhachkala. Proceedings of IX All-Russian Scientific Conference with Foreign Partnership 'Biological recultivation and monitoring of disturbed lands'. Ural University Press, Ekaterinburg, 209-214.

Shtirts, Yu.A (2011). Variation of the leaf blade size in *Acer pseudoplatanus* L. in roadside ecosystems in Donetsk region. In: Regulation of growth, development and productivity of plants. Proceedings of the VII International Conference. Law and Economics, Minsk, 228.



- Shtirts, Yu.A. (2012a). Variation of the leaf blade size in *Populus nigra* L. in industrial dumps in Donetsk region. Proceedings of IX All-Russian Scientific Conference with Foreign Partnership 'Biological recultivation and monitoring of disturbed lands'. Ural University Press, Ekaterinburg, 305-310.
- Shtirts Yu.A. (2012b). Evaluation of variability in leaf blade top and base of the *Populus nigra* L. in industrial waste dumps. Promyslova botanika. 12, 31-36.
- Shtirts, Yu.A., Shtirts, A.D. (2004). The consortive relations of birds with wood plants of urban landscape of Donbass. Bulletin of Donetsk National University. Ser. A: Natural sciences. 1, 411-416.
- Smirnova, O.V., Zaugolnova, L.B., Taronova, N.A., Falikov, L.D. (1976). The criteria of age states differentiation and peculiar features in the course of ontogenesis in plants of different biomorphs. In: Plant cenopopulations (basic concepts and structure). Nauka, Moscow, 14-43.
- Stakovetskaya, O.K., Kulikova, N.A., Sovetova, E.S. (2012). Evaluation of environmental air condition by bioindication methods. Retrieved from: [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Ecologia/6\\_106476.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm)
- Vogel, S. (2009). Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape. New Phytologist. 183, 13-26.

Zaitseva, I.O. (2012). Bioecological mechanisms of woody plants adaptation in the steppe zone of Ukraine. Published summary of a doctoral thesis. Dnipropetrovsk.

Zakharov, V.M., Baranov, A.S., Borisov, V.I. et al. (2000). Environmental health: assessment techniques. Assessment of natural populations by their developmental stability: a technical guidance for reserves. Center for Russian Environmental Policy, Moscow, 66 p.

Zhukov, A.V., Shtirts, Yu.A., Zhukov, S.P. (2011). Morphological variation rating by geometric morphometrics in *Betula pendula* Roth leaf blades in ecosystems with varying degrees of anthropogenic transformation. Problems of ecology and nature protection of technogen region. 1 (11), 128-134.

Zhukov, S.P. (2011). Plants resistant to the soil acidity in dump phytocenoses of Donbass. Problems of ecology and nature protection of technogen region. 1 (11), 230-234.

**Поступила в редакцию 16.06.2013**

**Как цитировать:**

Ю. А. Штирц (2013). Псевдосимметрия формы листовой пластинки *Populus nigra* L. В условиях промышленных отвалов Донбасса. Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого, 2 (8), 248-261.

**crossref** [http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3\(6\).543](http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3(6).543)

© Штирц, 2013

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).