

RESEARCH ARTICLE

UDC 581.4: 581.5

Variation of leaf margin serration in *Populus nigra* of industrial dumps

Yu.A. Shtirts

*Donetsk Botanical Garden, 110, Ilyich Ave, Donetsk, 83059**E-mail: strelkova@i.ua*

The variability of leaf margin serration of *Populus nigra* L. in conditions of industrial dumps (coal mines dumps and overburden dumps) and city park is estimated. The value of this indicator is in the range from 1.25 to 1.76 and significantly increases along the gradient: coal mines dumps – overburden dumps – city park. From the number of selected gradations of *P. nigra* leaf blades, the gradation with values of 1.45-1.55 is most pronounced according to the analyzed index for industrial dumps, for the park – with the values of 1.55-1.65. The degree of serration of edge leaf blade is characterized by low values of variation – coefficient of variation is less than 10.0%. We registered the significant positive correlation between the average values of leaf margin serration and the length of *P. nigra* leaf blade.

Key words: woody plants, *Populus nigra*, leaf blade, variability, leaf morphology, industrial dumps

Изменчивость степени изрезанности края листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов

Ю.А. Штирц

*Донецкий ботанический сад, пр. Ильича, 110, Донецк, 83059**E-mail: strelkova@i.ua*

Проведена оценка изменчивости степени изрезанности края листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов (породных отвалов угольных шахт и отвалов вскрышных пород) и городского парка. Значение данного показателя варьирует в пределах от 1,25 до 1,76 и статистически достоверно возрастает в ряду экосистем: породные отвалы угольных шахт – отвалы вскрышных пород – городской парк. Из числа выделяемых градаций листовых пластинок *P. nigra* по анализируемому показателю для промышленных отвалов наиболее выражена градация со значениями 1,45-1,55, для парка – со значениями 1,55-1,65. Показатель степени изрезанности края листовой пластинки характеризуется низкими значениями варьирования – коэффициент вариации составляет менее 10,0%. Выявлено наличие статистически достоверной положительной корреляционной связи между средними значениями показателя степени изрезанности и длины листовой пластинки *P. nigra*.

Ключевые слова: древесные растения, *Populus nigra*, листовая пластинка, изменчивость, изрезанность, промышленные отвалы

Введение

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. Листья являются наиболее чувствительными к условиям окружающей среды органами растений, под влиянием различных факторов в них происходят морфологические изменения (Stakovetskaya et al., 2012). По мнению многих авторов, изменение морфологии листьев одного и того же вида связано со сменой условий его произрастания (Givnish, 1978; Isakov et al., 1984; Zakharov et al., 2000; Andreeva, 2007; Bukharina et al., 2007; Niinemets et al., 2007; Bessonova, 2009; Migalina et al., 2009; Vogel, 2009; Khuzina, 2010; Nizhegorodtsev, 2010; Zhukov et al., 2011; Shtirts, 2011, 2012a, 2012b; Zaitseva, 2012). Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы (Givnish, 1984; Niinemets et al., 1999; Migalina et al., 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 (Isakov et al., 1984).

Листья многих видов растений обладают неровными краями. Функциональная значимость изрезанности края листовой пластинки, причины возникновения и влияние факторов окружающей среды на степень проявления данного морфологического признака активно обсуждается в различных литературных источниках. Ряд исследователей указывают на существенную роль в формировании изрезанного края листа температурного фактора (Bailey, Sinnott, 1916; Adams et al., 2008; Royer et al., 2009 и др.). Листья с изрезанными краями характеризуются большей способностью к теплоотдаче, чем листья с цельными краями (Gottschlich, Smith, 1982). D.L. Royer et al. (2012) помимо влияния температурного фактора связывают адаптивную роль изрезанности края с толщиной листа. В работах T.J. Givnish (1978, 1979), T.J. Givnish и R. Kriebel (2017) указано, что существенное влияние на характер изрезанности края листа оказывают особенности расположения и строения жилок и толщина листовой пластинки. Приведены данные, согласно которым изрезанный край листа ряда видов растений играет важную роль в процессах фотосинтеза в начале периода вегетации (Baker-Brosh, Peet, 1997; Royer, Wilf, 2006). Существенна роль изрезанности листовой пластинки в процессах транспирации (Gates, 1968; Royer, Wilf, 2006) и гуттации (Feild et al., 2005). Более или менее рассеченные листья облегчают газообмен и теплоотдачу (Gates, 1968). Весомым фактором в формировании изрезанного края листа растений является доступность влаги. В условиях засоления почв уменьшается число видов, имеющих изрезанный край листовой пластинки, несмотря на достаточное количество влаги, ввиду того, что солевой стресс вызывает физиологическую засуху (Royer et al., 2009). V. Brown и J. Lawton (1991) указывают на то, что у некоторых видов растений изрезанность края наряду с размером и формой листа, может быть эволюционным приспособлением, которое защищает от фитофагов. Существует точка зрения, согласно которой на изрезанность края листовой пластинки влияет расположение примордиальных листьев внутри почки и особенности дальнейшего их роста внутри и вне почки (Couturier et al., 2012; Edwards et al., 2016, 2017).

Степень изрезанности края листа ископаемых растений широко используется для реконструкции континентальных палеотемператур (Wolfe, 1971; Dolph, 1979; Wolfe, 1993; Wilf, 1997; Royer, Wilf, 2006; Adams et al., 2008; Royer et al., 2009; Hinojosa et al., 2011; Royer et al., 2012).

Такая морфологическая особенность как изрезанный край листа, по всей видимости, имеет различные причины возникновения в разных систематических группах и условиях произрастания, а также, вероятнее всего, возникла благодаря различным механизмам развития (Edwards et al., 2017).

Цель наших исследований – установить изменчивость изрезанности края листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях породных отвалов угольных шахт и отвалов вскрышных пород. Поскольку *P. nigra* встречается в биотопах различных типов, это даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость листовой пластинки в условиях различных экологических факторов. Данный вид проявляет высокую степень устойчивости в условиях города (Polyakov, 2009). Следует отметить существенную роль *P. nigra* как эдификатора в условиях трансформированных экосистем (Shtirts, Shtirts, 2004), поэтому изучение различных аспектов его морфологической изменчивости важно для понимания устойчивости данного вида.

Методика исследования

Сбор листьев осуществляли с укороченных побегов нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода. Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О.В. Смирновой и др. (Smirnova et al., 1976). Ввиду того, что данный вид обладает высокой склонностью к гибридизации с близкородственными видами, выбирали экземпляры растений с чётко выраженными морфологическими признаками, подтверждающими видовую принадлежность. Местами сбора листьев являлись породный отвал

шахты № 6–14 в г. Макеевке, породный отвал № 1 шахты «Чулковка № 8» в г. Донецке, 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, засоленности эдафотопов для указанных отвалов отмечена высокая степень сходства (Zhukov, 2011). Для сравнения степени изрезанности края листовой пластинки *P. nigra*, произрастающего в условиях отвалов и в условиях менее трансформированных экосистем, собраны листья на территории парка в г. Донецк, которая рассматривалась в качестве условного контроля. Листья были отсканированы при помощи сканера *Epson Perfection V33*. Для оценки степени изрезанности края листовой пластинки использовалась программа *Biological Pseudosymmetry (BioPS)*. Данный показатель представляет собой отношение периметра листовой пластинки P к длине окружности L , ограничивающей круг, по площади равный площади листовой пластинки.

Автоматический расчёт программой осуществляется следующим образом (Nizhegorodtsev, 2010).

Изначально площадь листовой пластинки приравнивается к площади круга:

$$S_{л} = S_{к} = \pi R^2,$$

где $S_{л}$ – площадь листовой пластинки, $S_{к}$ – площадь круга, R – радиус круга, по площади равной площади листовой пластинки.

$$\text{Отсюда } R = \sqrt{\frac{S_{к}}{\pi}}$$

Длину окружности, ограничивающей круг, по площади равной площади листовой пластинки, вычисляли по формуле:

$$L = 2\pi R = 2\pi \sqrt{\frac{S_{к}}{\pi}}$$

Таким образом, степень изрезанности листа вычислялась как:

$$I = \frac{P_{л}}{2\pi \sqrt{\frac{S_{к}}{\pi}}}$$

Оценка достоверности различий показателя степени изрезанности края листовой пластинки проведена с использованием t-критерия Стьюдента. Расчёт значений коэффициента вариации проводился согласно работе Г.Ф. Лакина (Lakin, 1990). Статистическая обработка данных проведена с применением пакета *Statistica 6.0*.

Результаты и обсуждение

Показатель степени изрезанности края листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок варьирует от 1,25 до 1,76. Листовые пластинки с минимальным и максимальным значениями данного показателя отражены на рис. 1.

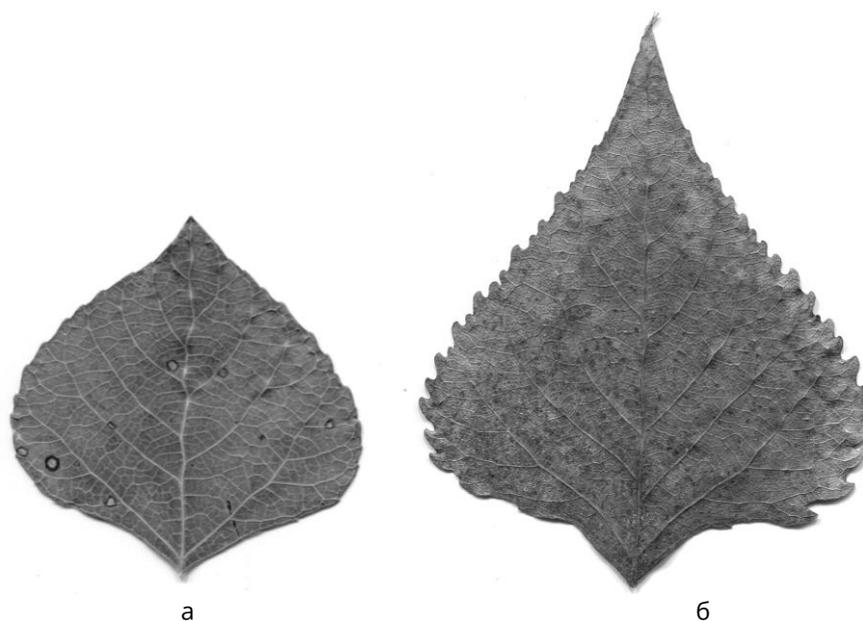


Рис. 1. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с минимальным и максимальными значениями показателя степени изрезанности края: а) с минимальным значением (1,25); б) с максимальным значением (1,76).

Породные отвалы угольных шахт. Показатель степени изрезанности края листовой пластинки варьирует от 1,25 до 1,63, размах вариации составляет 0,38, коэффициент вариации – 6,02%, среднее значение – $1,46 \pm 0,01$. Листовые пластинки со значением показателя степени изрезанности 1,25-1,35 составляют 13,4% всей выборки, со значениями 1,35-1,45 – 27,5%; 1,45-1,55 – 42,9%; 1,55-1,65 – 16,2% выборки (рис. 2).

Отвалы вскрышных пород. Показатель степени изрезанности края листовой пластинки варьирует от 1,33 до 1,75, размах вариации составляет 0,42, коэффициент вариации – 5,40%, среднее значение – $1,55 \pm 0,01$. Листовые пластинки со значением показателя степени изрезанности 1,25-1,35 составляют 2,6% всей выборки, со значениями 1,35-1,45 – 7,8%; 1,45-1,55 – 40,0%; 1,55-1,65 – 38,3%; 1,65-1,75 – 10,4%; 1,75 и более – 0,9% данной выборки (см. рис. 2).

Городской парк. Показатель степени изрезанности края листовой пластинки варьирует от 1,41 до 1,76, размах вариации составляет 0,35, коэффициент вариации – 4,49%, среднее значение – $1,60 \pm 0,01$. Листовые пластинки со значением показателя степени изрезанности 1,35-1,45 – 2,5%; 1,45-1,55 – 20,5%; 1,55-1,65 – 52,6%; 1,65-1,75 – 23,1%; 1,75 и более – 1,3% данной выборки (см. рис. 2).

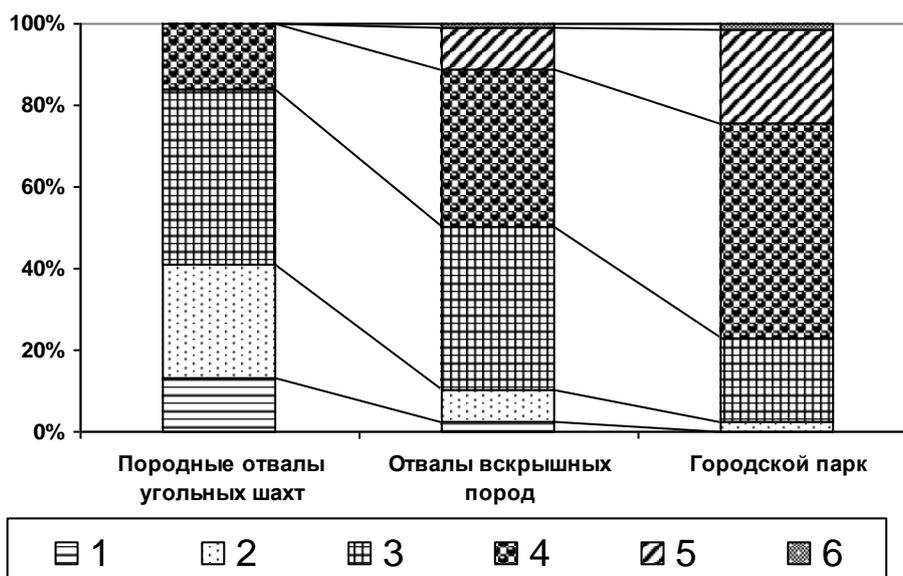


Рис. 2. Распределение листовых пластинок *Populus nigra* L. в выборках, взятых из различных экосистем, соответственно значению показателя степени изрезанности: 1) 1,25-1,35; 2) 1,35-1,45; 3) 1,45-1,55; 4) 1,55-1,65; 5) 1,65-1,75; 6) 1,75 и более.

Значения показателя степени изрезанности края листовой пластинки статистически достоверно различаются при попарном сравнении всех анализируемых выборок (табл. 1).

Таблица 1. Оценка достоверности различий показателя степени изрезанности края листовой пластинки *Populus nigra* L.

	Породные отвалы угольных шахт	Отвалы вскрышных пород	Городской парк
Места сбора листьев	Доверительный интервал для среднего значения показателя степени изрезанности края листовой пластинки для P=0,05		
	$1,46 \pm 0,01$	$1,55 \pm 0,01$	$1,60 \pm 0,01$
Породные отвалы угольных шахт	–	0,0*	0,0*
Отвалы вскрышных пород	0,0*	–	0,0*
Городской парк	0,0*	0,0*	–

Примечание. * – P-уровень.

Показатель степени изрезанности края листовой пластинки статистически достоверно возрастает в ряду экосистем: породные отвалы угольных шахт – отвалы вскрышных пород – городской парк. Указанный ряд экосистем также отражает последовательное возрастание длины листовой пластинки *P. nigra* (Shtirts, 2012a). Проведенный корреляционный анализ показал наличие статистически достоверной положительной связи между степенью изрезанности и длиной листовой пластинки – коэффициент корреляции составил 0,61 (анализу подвергали средние значения показателей, рассчитанные для каждого отдельно взятого дерева). Снижение

степени изрезанности края, как и уменьшение длины листовой пластинки *P. nigra* в условиях промышленных отвалов может быть реакцией растения на дефицит влаги, эффект которого усиливается значительным засолением эдафотопов отвалов.

Выводы

Значение показателя степени изрезанности края листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок находится в пределах от 1,25 до 1,76 и статистически достоверно возрастает в ряду экосистем: породные отвалы угольных шахт – отвалы вскрышных пород – городской парк. Из числа выделяемых градаций листовых пластинок *P. nigra* по степени изрезанности края для отвалов наиболее выражена градация со значениями 1,45-1,55, для парка – со значениями 1,55-1,65.

Показатель степени изрезанности края листовой пластинки характеризуется низкими значениями варьирования – коэффициент вариации составляет менее 10,0%. Выявлено наличие статистически достоверной положительной корреляционной связи между средними значениями показателя степени изрезанности и длины листовой пластинки *P. nigra*, рассчитанными для каждого отдельного дерева: коэффициент корреляции составил 0,61.

References

- Adams, J.M., Green, W.A., Zhang, Y. (2008). Leaf margins and temperature in the North American flora: Recalibrating the paleoclimatic thermometer. *Global and Planetary Change*, 60, 523–534.
- Andreeva, M.V. (2007). Assessment of the state of the environment in plantations in zones of industrial emissions with the help of plant-indicators. St. Petersburg (in Russian).
- Bailey, I.W., Sinnott, E.W. (1916). The climatic distribution of certain types of angiosperm leaves. *American Journal of Botany*, 3, 24–39.
- Baker–Brosh, K.F., Peet, R.K. (1997). The ecological significance of lobed and toothed leaves in temperate forest trees. *Ecology*, 78(4), 1250–1255.
- Bessonova, N.V. (2009). Use of the bioindication method for assessing the ecological status of various regions in Khabarovsk. *Forests of Russia in the 21st Century*. St. Petersburg, 11–13 (in Russian).
- Brown, V., & Lawton, J. (1991). Herbivory and the evolution of leaf size and shape. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B, Biological Sciences*, 333, 265–272.
- Bukharina, I.L., Povarnitsina, T.M., Vedernikov, K.E. (2007). Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment. Izhevsk (in Russian).
- Couturier, E., Brunel, N., Douady, S., Nakayama, N. (2012). Abaxial growth and steric constraints guide leaf folding and shape in *Acer pseudoplatanus*. *American Journal of Botany*, 99, 1289–1299.
- Dolph, G. (1979). Variation in leaf margin with respect to climate in Costa Rica. *Bull. Torrey Bot. Club*, 106, 104–109.
- Edwards, E.J., Chatelet, D.S., Spriggs, E.L., Johnson, E.S., Schlutius, C., Donoghue, M.J. (2017). Correlation, causation, and the evolution of leaf teeth: A reply to Givnish and Kriebel. *American Journal of Botany*, 104(4), 509–515.
- Edwards, E.J., Spriggs, E.L., Chatelet, D.S., Donoghue, M.J. (2016). Unpacking a century-old mystery: Winter buds and the latitudinal gradient in leaf form. *American Journal of Botany*, 103(6), 975–978.
- Feild, T.S., Sage, T.L., Czerniak, C., Iles, W.J.D. (2005). Hydathodal leaf teeth of *Chloranthus japonicus* (Chloranthaceae) prevent guttation-induced flooding of the mesophyll. *Plant, Cell & Environment*, 28, 1179–1190.
- Gates, D.M. (1968). Energy exchange and ecology. *Bioscience*, 18, 90–95.
- Givnish, T.J. (1978). Ecological aspects of plant morphology: Leaf form in relation to environment. *Acta Biotheoretica* (Supplement: Folia Biotheoretica N 7), 27, 83–142.
- Givnish, T.J. (1979). On the adaptive significance of leaf form. In Solbrig, O.T., Raven, P.H., Jain, S., & Johnson, G. *Topics in plant population biology*. New York, Columbia University Press, 375–407.
- Givnish, T.J. (1984). Leaf and canopy adaptations in tropical forests. *Physiological ecology of plants of the wet tropics*, 51–84.
- Givnish, T.J., Kriebel, R. (2017). Causes of ecological gradients in leaf margin entirety: Evaluating the roles of biomechanics, hydraulics, vein geometry, and bud packing. *American Journal of Botany*, 104, 354–366.
- Gottschlich, D.E., Smith, A.P. (1982). Convective heat transfer characteristics of toothed leaves. *Oecologia*, 53 (3), 418–420.
- Hinojosa, L.F., Pérez, F., Gaxiola, A., Sandoval, I. (2011). Historical and phylogenetic constraints on the incidence of entire leaf margins: Insights from a new South American model. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 380–390.
- Isakov, V.N., Viskovatov, L.I., Leishovnik, Ya.Ya. (1984). Investigation of leaf morphology by means of automation. Riga (in Russian).
- Khuzina, G.R. (2010). Influence of the urban boundary on the morphometric parameters of the birch leaf layer (*Betula pendula* Roth). *Bulletin of the Udmurt University. Biology*, 3, 53–57 (in Russian).
- Lakin, G.F. (1990). *Biometrics*. Moscow (in Russian).

- Migalina, S.V., Ivanova, L.A., Makhnev, A.K. (2009). Dimensions of the birch leaf as an indicator of its productivity far from the climatic optimum. *Physiology of Plants*, 56, 6, 948–953 (in Russian).
- Niinemets, Ü., Kull, O., Tenhunen, J.D. (1999). Variability in leaf morphology and chemical composition as a function of canopy light environment in coexisting deciduous trees. *International Journal of Plant Sciences*, 160, 837–848.
- 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. *Funct. Ecol.*, 21, 28–40.
- Nizhegorodtsev, A.A. (2010). Pseudosymmetry of plant objects as a bioindication indicator: theoretical justification, evaluation automation, approbation. Nizhny Novgorod (in Russian).
- Polyakov, A.K. (2009). Introduction of woody plants in the conditions of anthropogenic environment. Donetsk (in Russian).
- Royer, D.L., Kooyman, R.M., Little, S.A., Wilf, P. (2009). Ecology of leaf teeth: A multi-site analysis from an Australian subtropical rainforest. *American Journal of Botany*, 96, 738–750.
- Royer, D.L., Peppe, D.J., Wheeler, E.A., Niinemets, Ü. (2012). Roles of climate and functional traits in controlling toothed vs. untoothed leaf margins. *American Journal of Botany*, 99, 915–922.
- Royer, D.L., Wilf, P. (2006). Why do toothed leaves correlate with cold climates? Gas exchange at leaf margins provides new insights into a classic paleotemperature proxy. *International Journal of Plant Sciences*, 167, 11–18.
- Shtirts, Yu.A., Shtirts, A.D. (2004). Consortive connections of birds with wood autotrophs in conditions of the urbanized landscape of Donbass. *Bulletin of Donetsk University. Natural science*, 1(2), 411–416 (in Russian).
- Shtirts, Yu.A. (2011). Variation in the size of the leaf blade of *Acer pseudoplatanus* L. in conditions of roadside ecosystems of the city of Donetsk. *Regulation of growth, development and productivity of plants*. Minsk, 228 (in Russian).
- Shtirts, Yu.A. (2012a). Variation of the dimensions of the leaf blade of the *Populus nigra* L. in conditions of industrial dumps in the Donetsk region. *Biological recultivation and monitoring of disturbed lands*. Ekaterinburg, 305–310 (in Russian).
- Shtirts, Yu.A. (2012b). Assessment of the variability of the apex and the base of the leaf blade of *Populus nigra* L. in conditions of industrial dumps. *Industrial botany*, 12, 31–36 (in Russian).
- Smirnova, O.V., Zaugolnova, L.B., Taronova, N.A., Falikov, L.D. (1976). Criteria for distinguishing age conditions and features of the ontogenesis course in plants of different biomorphs. *Moscow*, 1, 14–43 (in Russian).
- Stakovetskaya, O.K., Kulikova, N.A., Sovetova, E.S. (2012). Estimation of the ecological state of the air environment using bioindication methods. Available at http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm/; Accessed on 15.05.2017 (in Russian).
- Vogel, S. (2009). Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape. *New Phytologist*, 183, 13–26.
- Wilf, P. (1997). When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis. *Paleobiology*, 23, 373–390.
- Wolfe, J.A. (1971). Tertiary climatic fluctuations and methods of analysis of tertiary floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 9, 27–57.
- Wolfe, J.A. (1993). A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages. *US Geol. Surv. Bull.*, 2040, 1–71.
- Zaitseva, I.O. (2012). Bioecological mechanisms of wood introductions adaptation in the steppe zone of Ukraine. Dnepropetrovsk (in Ukrainian).
- Zakharov, V.M., Baranov, A.S., Borisov, V.I., (2000). Health of the environment: a methodology for evaluation. Assessment of the state of natural populations for the stability of development: methodological guidance for reserves. Moscow (in Russian).
- Zhukov, A.V., Shtirts, Yu.A., Zhukov, S.P. (2011). Evaluation of morphological variability of *Betula pendula* Roth leaflets in ecosystems with different degree of anthropogenic transformation by methods of geometric morphometry. *Problems of ecology and nature protection of the technogenic region*, 1(11), 128–134 (in Russian).
- Zhukov, S.P. (2011). Plants resistant to high acidity of soils in phytocenoses of Donbass dumps. *Problems of ecology and nature protection of the technogenic region*, 1(11), 230–234 (in Russian).

Citation:

Shtirts, Yu.A. (2017). Variation of leaf margin serration in *Populus nigra* of industrial dumps. *Acta Biologica Sibirica*, 3 (2), 46–51.

Submitted: 23.04.2017. Accepted: 25.06.2017

crossref <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v3i2.2731>



© 2017 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).