

Ю. А. Штирц

ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРХУШКИ И ОСНОВАНИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POPULUS NIGRA* L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

древесные растения, *Populus nigra* L., листовая пластинка, морфологическая изменчивость

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 [13]. Этим обусловлена их фитоиндикационная способность. К настоящему времени накопилось довольно много информации об индикаторной роли древесных растений [1]. Листья являются наиболее чувствительными к условиям окружающей среды органами растений, под влиянием различных факторов в них происходят морфологические изменения [13]. По мнению многих авторов, изменение морфологии листьев одного и того же вида связано со сменой условий его произрастания [1–3, 7, 8, 10, 14, 16, 17 и др.]. Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы [11]. Разные части листовой пластинки характеризуются различной степенью изменчивости. Так, в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации максимальный вклад в общую вариабельность формы листовой пластинки *Betula pendula* Roth вносит изменчивость её базальной части в месте прикрепления черешка сравнительно с остальной частью листовой пластинки [5].

Лист увеличивается в длину, главным образом, за счет интеркалярного роста. Первой прекращает рост верхушка листа, а последним – его основание. Соответственно, верхушка листа первой приобретает окончательную структуру, что отражает общую последовательность развития этого органа «сверху вниз» [11].

Значительная изменчивость верхушки и основания листовой пластинки под влиянием техногенного загрязнения отмечена в работе М. В. Андреевой [1] для *Populus tremula* L. в условиях Новгородской области.

Цель исследований – установить морфологическую изменчивость верхушки и основания листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях отвалов угольных шахт и отвалов вскрышных пород.

P. nigra является видом, который встречается в биотопах различных типов, что даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость его листовой пластинки в зависимости от влияния тех или иных экологических факторов и определить перспективность применения этого признака в качестве биоиндикатора состояния окружающей среды. Следует отметить также существенную роль *P. nigra* как эдификатора сообществ в условиях трансформированных экосистем [15], поэтому изучение различных аспектов его морфологической изменчивости как проявление адаптации является актуальной задачей.

Объект, условия и методика исследования

Сбор листьев *P. nigra* осуществляли в летние периоды 2010–2011 гг. с укороченных побегов нижней части кроны растений зрелой стадии генеративного периода. Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О. В. Смирновой и др. [12]. 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.

Эдафотопы 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 [6].

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 городского парка – Центрального парка культуры и отдыха (ЦПКиО) им. А.С. Щербакова в г. Донецке. Данная территория была нами принята в качестве условного контроля.

Листья были отсканированы при помощи сканера Epson Perfection V33. Дальнейшие измерения проводили в программе ImageJ 1.43u. Объём выборки составил в условиях породных отвалов угольных шахт 380 листовых пластинок, отвалов вскрышных пород – 307, городского парка – 264 листовые пластинки.

Оценку изменчивости верхушки и основания листовой пластинки проводили с использованием числового индекса, методика расчёта которого приведена в работе Т.Н. Гендельс, Л.Ю. Буданцева [4]. Угол, под которым отходили радиус-векторы от центра (согласно упомянутой методике), составил 20°. Оценка достоверности различий сравниваемых параметров проведена с использованием t-критерия Стьюдента. Расчёт значений размаха и коэффициента вариации проводили по формулам, приведенным в работе Г. Ф. Лакина [9]. Статистическая обработка данных проведена с применением пакета Statistica 6.0.

Результаты исследований и их обсуждение

Значения числового индекса верхушки листовой пластинки для всех анализируемых выборок находятся в пределах от 1,21 до 2,65. Листовые пластинки с минимальным и максимальным значениями индекса верхушки отражены на рисунке 1. Согласно градации, приведенной в работе Т.Н. Гендельс, Л.Ю. Буданцева [4], верхушки листовых пластинок в соответствии с числовыми значениями индекса классифицируют следующим образом: значения индекса 1,01–1,26 – верхушка тупая; 1,27–1,49 – острая; 1,50 и более – оттянутая. Ввиду того, что максимальное из вычисленных значений индекса верхушки составляет 2,65, нами выделены дополнительные градации в категории оттянутых верхушек: значения индекса 1,50–1,74 – слабо оттянутая; 1,75–1,99 – коротко оттянутая; 2,00–2,24 – умеренно оттянутая; 2,25–2,49 – длинно оттянутая; 2,50–2,65 – сильно оттянутая.

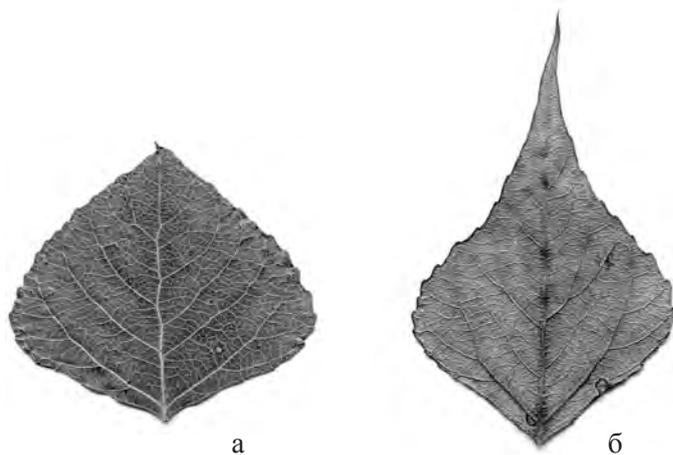


Рис. 1. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с различными типами верхушки:

- а) с тупой верхушкой (значение числового индекса – 1,21);
- б) с сильно оттянутой верхушкой (значение числового индекса – 2,65).

Значения числового индекса основания листовой пластинки для всех анализируемых выборок находятся в пределах от 0,74 до 0,99. Листовые пластинки с минимальным и максимальным значениями индекса основания отражены на рисунке 2. Основания листовых пластинок с численными значениями индекса 0,65–0,78 относят к категории острых, с численными значениями 0,79–0,99 – к категории тупых [4].

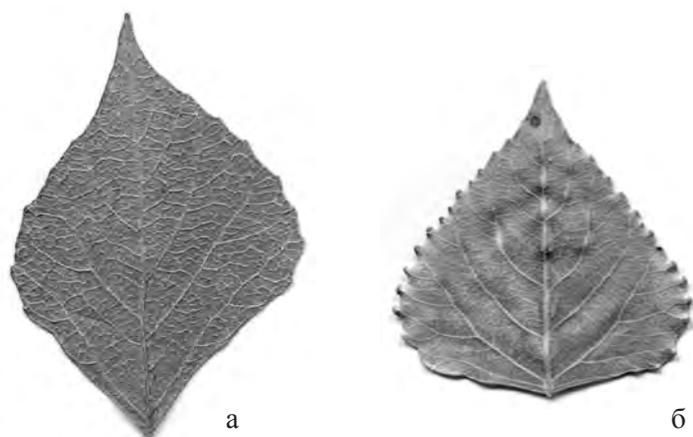


Рис. 2. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с различными типами основания:
а) с острым основанием (значение числового индекса – 0,74);
б) с тупым основанием (значение числового индекса – 0,99).

Породные отвалы угольных шахт. Значения числового индекса верхушки листовой пластинки *P. nigra* варьируют от 1,21 до 2,13, размах вариации – 0,92, коэффициент вариации – 13,02%, среднее значение его составляет $1,71 \pm 0,144$. Листовые пластинки со значением индекса верхушки менее 1,27 составляют 3,3% всей выборки, а со значениями 1,27–1,49 – 17,1%, 1,50–1,74 – 30,3%, 1,75–1,99 – 39,5%, 2,00–2,13 – 9,9% (рис. 3).

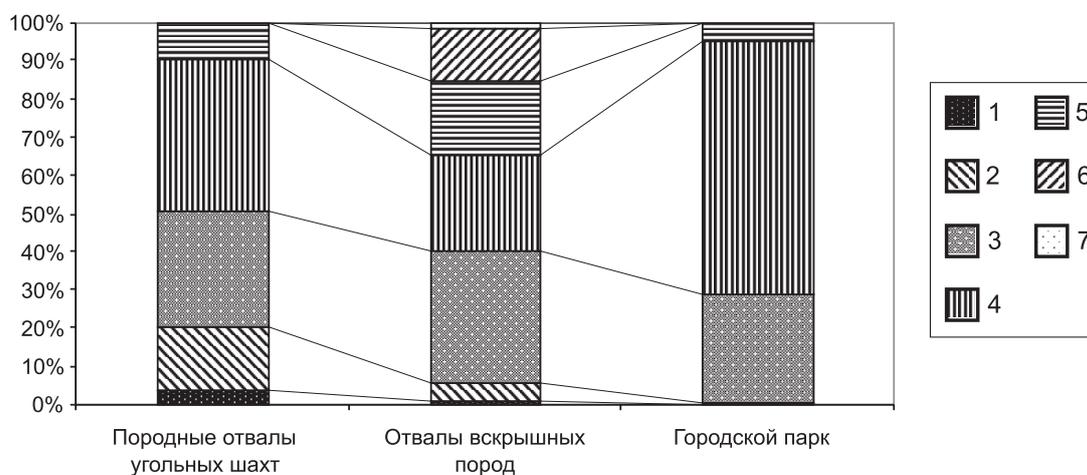


Рис. 3. Распределение листовых пластинок *Populus nigra* L. в выборках, взятых из различных экосистем, соответственно числовому индексу верхушки:
1) 1,01–1,26; 2) 1,27–1,49; 3) 1,50–1,74; 4) 1,75–1,99; 5) 2,00–2,24; 6) 2,25–2,49; 7) 2,50–2,74.

Значения индекса основания листовой пластинки варьируют от 0,76 до 0,99, размах вариации – 0,23, коэффициент вариации – 6,35%, среднее значение составляет $0,88 \pm 0,050$. Основную часть выборки составляют листья со значениями индекса основания 0,79–0,99 – 95,4%, со значением 0,78 и менее – 4,6% (рис. 4).

Отвалы вскрышных пород. Значения числового индекса верхушки листовой пластинки *P. nigra* варьируют от 1,26 до 2,65, размах вариации – 1,39, коэффициент вариации – 16,16%, среднее значение составляет $1,90 \pm 0,178$. Листовые пластинки со значением индекса верхушки менее 1,27 составляют 0,8% всей выборки, 1,27–1,49 – 4,9%, 1,50–1,74 – 34,1%, 1,75–1,99 – 25,2%, 2,00–2,24 – 19,5%, 2,25–2,49 – 13,8%, 2,50–2,65 – 1,6% (рис. 3).

Значения числового индекса основания листовой пластинки варьируют от 0,74 до 0,99, размах вариации – 0,25, коэффициент вариации – 5,68%, среднее значение – $0,84 \pm 0,048$. Основную часть выборки, также как и для отвалов угольных шахт, составляют листья со значением индекса основания 0,79–0,99 – 88,6%, а со значением 0,78 и менее – 11,4% (рис. 4).

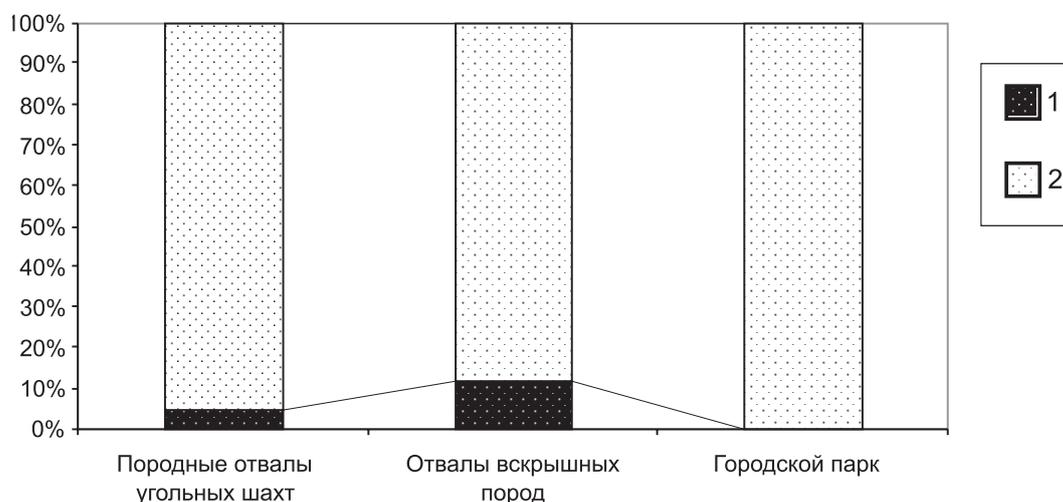


Рис. 4. Распределение листовых пластинок *Populus nigra* L. в выборках, взятых из различных экосистем, соответственно числовому индексу основания:

1) 0,65–0,78; 2) 0,79–0,99.

Городской парк. Значения числового индекса верхушки листовой пластинки *P. nigra* варьируют от 1,49 до 2,10, размах вариации – 0,61, коэффициент вариации – 6,38%, среднее значение – $1,81 \pm 0,128$. Листовые пластинки со значением индекса верхушки 1,49 составляют незначительную часть выборки – 0,4%, а со значениями 1,50–1,74 – 28,3%, 1,75–1,99 – 66,7%, 2,00–2,10 – 4,6% выборки (рис. 3).

Значения индекса основания листовой пластинки варьируют от 0,80 до 0,93, размах вариации – 0,13, коэффициент вариации – 3,26%, среднее значение составляет $0,86 \pm 0,043$. Следовательно, для всей выборки характерно тупое основание листовой пластинки.

Согласно с оценкой достоверности различий анализируемых параметров с применением t-критерия Стьюдента (при $P < 0,05$) значения индекса верхушки и индекса основания листовой пластинки статистически достоверно различаются при попарном сравнении всех анализируемых выборок (табл. 1, 2).

Таблица 1. Оценка достоверности различий значений индекса верхушки листовой пластинки *Populus nigra* L. с использованием t-критерия Стьюдента при попарном сравнении анализируемых выборок

Места сбора листьев	Породные отвалы угольных шахт	Отвалы вскрышных пород	Городской парк
Породные отвалы угольных шахт	$1,71 \pm 0,144^{**}$	$0,000000^*$	$0,000192^*$
Отвалы вскрышных пород	различия статистически достоверны***	$1,90 \pm 0,178^{**}$	$0,005929^*$
Городской парк	различия статистически достоверны***	различия статистически достоверны***	$1,81 \pm 0,128^{**}$

Примечание. Здесь и далее в табл. 2: * – значение P, при котором отвергается нулевая гипотеза; ** – среднее значение индекса верхушки листовой пластинки (доверительный интервал указан для $P = 0,05$); *** – оценка достоверности различий.

Таблица 2. Оценка достоверности различий значений индекса основания листовой пластинки *Populus nigra* L. с использованием t-критерия Стьюдента при попарном сравнении анализируемых выборок

Места сбора листьев	Породные отвалы угольных шахт	Отвалы вскрышных пород	Городской парк
Породные отвалы угольных шахт	0,88±0,050**	0,000008*	0,011610*
Отвалы вскрышных пород	различия статистически достоверны***	0,84±0,048**	0,029023*
Городской парк	различия статистически достоверны***	различия статистически достоверны***	0,86±0,043**

Примечание. Обозначения как в табл. 1.

Выводы

1. Значения числового индекса верхушки листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок варьируют в пределах от 1,21 до 2,65 и статистически достоверно возрастают в ряду экосистем: породные отвалы угольных шахт → городской парк → отвалы вскрышных пород.

2. Преобладающая часть листовых пластинок всех анализируемых выборок характеризуется оттянутой верхушкой: значение индекса – 1,50 и более. Для городского парка характерно существенное преобладание листовых пластинок с коротко оттянутыми верхушками (значения индекса от 1,75 до 1,99) – 66,7% выборки.

3. Значения числового индекса основания листовой пластинки *P. nigra* варьируют от 0,74 до 0,99 и статистически достоверно возрастают в ряду экосистем: отвалы вскрышных пород → городской парк → породные отвалы угольных шахт.

4. Подавляющая часть листовых пластинок каждой из рассматриваемых выборок характеризуется тупым основанием: значения индекса находятся в пределах 0,79–0,99.

5. В форме листовой пластинки *P. nigra* верхушка является более вариабельной, чем основание. Верхушка и основание листовой пластинки проявляют более выраженную степень вариабельности в условиях промышленных отвалов сравнительно с городским парком, что указывает на их индикаторную возможность в техногенных экосистемах.

1. 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» / М.В. Андреева. – СПб., 2007. – 20 с.
2. Бессонова Н.В. Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске / Н. В. Бессонова // Леса России в XXI веке: Матер. I междунар. науч.-практ. интернет-конференции (июль 2009 г.) / Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия. – СПб.: ЛТА, 2009. – С. 11–13.
3. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
4. Гендельс Т.В. Изучение изменчивости формы листовой пластинки *Populus deltoides* (Salicaceae) с помощью числового индекса / Т.В. Гендельс, Л.Ю. Буданцев // Ботан. журн. – 1991. – Т. 76, № 5. – С. 747–752.
5. Жуков А.В. Оценка методами геометрической морфометрии морфологической изменчивости листовых пластинок *Betula pendula* Roth в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации / А.В. Жуков, Ю.А. Штирц, С.П. Жуков // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – С. 128–134.
6. Жуков С.П. Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса / С. П. Жуков // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – С. 230–234.
7. 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» / І.О. Зайцева. – Дніпропетровськ, 2012. – 40 с.

8. *Исаков В.Н.* Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации / В.Н. Исаков, Л.И. Висковатова, Я.Я. Лейшовник. – Рига: Зинатне, 1984. – 196 с.
9. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
10. *Мигалина С.В.* Размеры листа берёзы как индикатор её продуктивности вдали от климатического оптимума / С.В. Мигалина, Л.А. Иванова, А.К. Махнев // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 6. – С. 948–953.
11. *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» / А.А. Нижегородцев. – Нижний Новгород, 2010. – 24 с.
12. *Смирнова О.В.* Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф / О.В. Смирнова, Л.Б. Заугольнова, Н.А. Таронова, Л.Д. Фаликов // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М.: Наука, 1976. – Ч. I. – С. 14–43.
13. *Стаковецкая О.К.* Оценка экологического состояния воздушной среды методами биоиндикации / О.К. Стаковецкая, Н.А. Куликова, Е.С. Советова. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm
14. *Хузина Г.Р.* Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) / Г.Р. Хузина // Вестник Удмурдского университета. Сер. Биол. – 2010. – Вып. 3. – С. 53–57.
15. *Штирц Ю.А.* Консортивные связи птиц с древесными автотрофами в условиях урбанизированного ландшафта Донбасса / Ю.А. Штирц, А.Д. Штирц // Вісник Донецького університету, сер. А.: Природн. науки. – 2004. – Вип. 1. – Ч. 2. – С. 411–416.
16. *Givnish T.J.* Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment / T.J. Givnish // Acta Biotheor. – 1978. – Vol. 27. – P. 83–142.
17. *Niinemets Ü.* Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation / Ü. Niinemets, A. Portsmouth, M. Tobias // Funct. Ecol. – 2007. – Vol. 21. – P. 28–40.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 18.06.2012

УДК 632.15:581.45(477.60)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРХУШКИ И ОСНОВАНИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POPULUS NIGRA* L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

Ю.А. Штирц

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Проведена оценка морфологической изменчивости верхушки и основания листовой пластинки *Populus nigra* L. с использованием числового индекса. Значения индекса верхушки листовой пластинки *P. nigra* статистически достоверно возрастают в ряду экосистем: породные отвалы угольных шахт → городской парк → отвалы вскрышных пород. Преобладающая часть листовых пластинок рассматриваемых выборок характеризуется оттянутой верхушкой. Для городского парка характерно существенное преобладание листовых пластинок с коротко оттянутой верхушкой (индекс от 1,75 до 1,99). Значение индекса основания листовой пластинки *P. nigra* статистически достоверно возрастает в ряду экосистем: отвалы вскрышных пород → городской парк → породные отвалы угольных шахт. Для основной части листовых пластинок анализируемых выборок характерно тупое основание. В форме листовой пластинки *P. nigra* верхушка является более вариабельной, чем основание. Эти признаки формы листовой пластинки проявляют более выраженную степень вариабельности в условиях промышленных отвалов сравнительно с городским парком. В связи с этим для выявления их индикационных возможностей необходимы дальнейшие исследования в данном аспекте.

UDC 632.15:581.45(477.60)

ASSESSMENT OF THE VARIATION OF *POPULUS NIGRA* L. LEAF BLADE TIP AND BASE UNDER THE INDUSTRIAL WASTE DUMP CONDITIONS

Yu.A. Shtirts

Donetsk Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine

The assessment of the morphological variation of *Populus nigra* L. leaf blade tip and base has been conducted using a numerical index. The values of a leaf blade tip index are statistically significantly increasing for the following array of ecosystems: coal mine dumps → city park → overburden rock dumps. Most part of the leaf blades in the investigated samples is characterized by attenuate tips. In the city park the leaf blades with shortly attenuate tips (index 1,75-1,99) dominate significantly. The values of *P. nigra* leaf blade base are statistically significantly increasing for the following array of ecosystems: overburden rock dumps → city park → coal mine dumps. Blunt bases are characteristic of the most part of leaf blades in the analyzed samples. In *P. nigra* leaf form a leaf tip is more variable index than a leaf base. These features of the leaf blade form are more variable under the conditions of industrial waste dumps compared to the city park. In this connection, further investigations in this field are needed to reveal the potential use of these indices as indicators.