

Ю.А. Штирц

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК *POPULUS NIGRA* L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

древесные растения, *Populus nigra* L., листовая пластинка, морфологическое разнообразие

Введение

Зеленые насаждения на техногенных территориях испытывают постоянное влияние неблагоприятных факторов. Листья являются наиболее чувствительными к параметрам окружающей среды органами растений [19]. Вариации морфологической структуры листьев одного и того же вида связаны со сменой условий его произрастания [1, 2, 4, 7, 9, 12–14, 21, 22, 28 и др.]. Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы [13]. Степень влияния конкретных факторов окружающей среды на вариабельность формы листьев растений крайне трудно поддается непосредственному экспериментальному исследованию, но может быть учтена косвенным путём, посредством сбора материала в местах с различными условиями.

Принимая во внимание значительную динамичность параметров листьев растений и их зависимость от факторов окружающей среды, оценка морфологического разнообразия листовых пластинок в экосистемах с различной степенью антропогенного прессинга, как весомой составляющей вегетативной сферы растительных организмов, представляется важной и актуальной задачей.

Populus nigra L. (тополь чёрный) на территории Донбасса встречается в экотопах различных типов, что даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость его листовой пластинки в зависимости от влияния тех или иных экологических факторов.

Цель и задачи исследований

Целью наших исследований являлось установление морфологического разнообразия листовых пластинок *P. nigra* в условиях двух типов промышленных отвалов – породных отвалов угольных шахт и отвалов вскрышных пород, и оценка возможности применения этого подхода как одного из методов биоиндикации и мониторинга состояния окружающей среды. Для достижения поставленной цели был предусмотрен анализ выборок листовых пластинок *P. nigra* по следующим параметрам: размеры (длина и ширина), признак удлинённости, числовой индекс верхушки, числовой индекс основания, коэффициент асимметрии формы верхушки, коэффициент асимметрии формы основания, признак псевдосимметрии (степень инвариантности) формы в целом, степень изрезанности края.

Объект, материалы и методы исследований

Сбор листьев *P. nigra* осуществляли в летние периоды 2010–2012 гг. с нижней части кроны растений зрелой стадии генеративного периода. Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О. В. Смирновой с соавторами [18]. Ввиду того, что этот вид обладает высокой склонностью к гибридизации с близкородственными видами тополей, выбирали экземпляры растений с чётко выраженными морфологическими видовыми признаками.

Местами сбора листьев *P. nigra* были породный отвал шахты № 6–14 в г. Макеевке, породный отвал № 1 шахты «Чулковка» № 8 в г. Донецке, отвалы вскрышных пород Докучаевского флюсо-доломитного комбината в Донецкой области.

Эдафотопы породных отвалов угольных шахт характеризуются кислой реакцией субстратов, отвалов вскрышных пород Докучаевского флюсо-доломитного комбината – щелочной реакцией, а по механическому составу, засолённости субстратов отмечена высокая степень их сходства [8].

Для сравнения анализируемых параметров листовых пластинок деревьев, произрастающих в условиях техногенных территорий, с параметрами листовых пластинок деревьев из менее трансформированных экосистем, были собраны листья на территории одного из центральных парков г. Донецка, которая была нами принята в качестве условного контроля.

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

Измеряли длину листовой пластинки как расстояние между точками начала и окончания центральной жилки, её ширину как длину отрезка, проведенного перпендикулярно центральной жилке в середине её длины. Сравнивали также листовые пластинки по признаку удлинённости – отношение их длины к ширине [12]. Оценку изменчивости верхушки и основания листовой пластинки проводили с использованием числового индекса, методика расчёта которого приведена в работе Т. Н. Гендельс, Л. Ю. Буданцева [6]. Угол, под которым отходили радиус-векторы от центра (согласно упомянутой методике), составил 20°. Для оценки степени асимметрии верхушки и основания числовой индекс рассчитывали для левой и правой стороны листовой пластинки. Коэффициент асимметрии верхушки (либо основания) листовой пластинки рассчитывали по формуле:

$$K = (I_L - I_R) / (I_L + I_R),$$

где I_L и I_R – значения числового индекса верхушки (либо основания) соответственно с левой и с правой стороны листовой пластинки. Измерения линейных и угловых параметров листовой пластинки проводили в программе ImageJ 1.43u.

Для оценки псевдосимметрии формы листовой пластинки в целом использована программа Biological Pseudosymmetry (BioPs) (биологическая псевдосимметрия) по расчёту степени псевдосимметрии относительно зеркального отражения для плоских билатерально симметричных биологических объектов. Учитывали степень инвариантности по конгруэнтности (форме) без учёта яркости окраски листа. Плоскость отражения была выбрана по нескольким точкам центральной жилки.

Для оценки степени изрезанности края листовой пластинки также была использована программа BioPs. Этот признак представляет собой отношение периметра листовой пластинки P к длине окружности L , ограничивающей круг, который по площади равен площади листа [14].

В основу оценки морфологического разнообразия была положена представленность в анализируемых выборках листовых пластинок различных градаций, которые были выделены нами по значениям анализируемых параметров. Морфологическое разнообразие было оценено с помощью индекса Шеннона [25, 26]. Расчет значений индекса проводили следующим образом:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i,$$

где H – индекс Шеннона, p_i – доля листовых пластинок в выборке, относящихся к i -ой градации параметра, N – общее количество градаций анализируемого параметра.

Результаты исследований и их обсуждение

К числу наиболее распространенных статистических морфометрических параметров, которые позволяют оценивать состояние фитопопуляций (и косвенно индигировать их экотопы), традиционно относят размеры листьев растений [16]. Редукция размеров листа в неблагоприятных условиях обусловлена короткой стадией деления клеток и быстрой дифференциацией тканей в процессе онтогенеза [15]. В качестве параметров, характеризующих размеры листовой пластинки, были проанализированы её длина и ширина. Длина листовой пластинки *P. nigra* для всех анализируемых выборок варьирует от 36,5 до 122,0 мм, ширина – в пределах от 21,0 до 77,2 мм.

Признак удлинённости листовой пластинки *P. nigra* варьирует от 0,85 до 2,88. Числовой индекс верхушки находится в пределах от 1,21 до 2,65, числовой индекс основания – в пределах от 0,74 до 0,99. Значение коэффициента асимметрии формы верхушки для всех анализируемых

выборки варьирует от 0,000 до 0,253, коэффициента асимметрии формы основания – от 0,000 до 0,152. Признак псевдосимметрии (степень инвариантности) формы листовой пластинки в целом находится в пределах от 0,5485 до 0,9796. Степень изрезанности края листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок варьирует от 1,2500 до 1,7632 (значение этого параметра приводится в пикселях).

Листовые пластинки с минимальными и максимальными значениями параметров отражены на рисунке 1.

Выделяемые градации анализируемых параметров и распределение листовых пластинок в выборках из различных местообитаний соответственно этим градациям приведены в таблице 1.

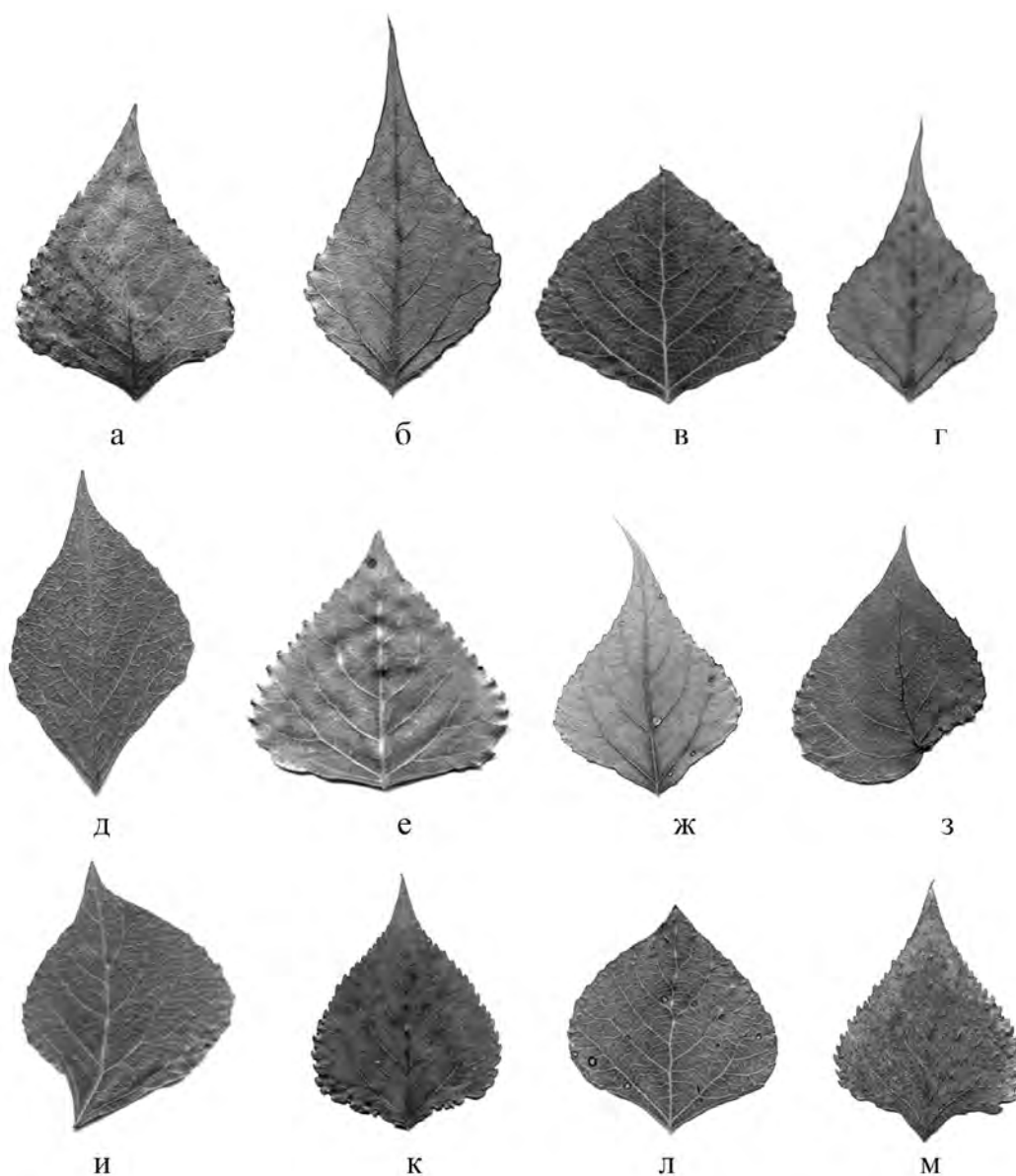


Рис. 1. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с минимальными и максимальными значениями параметров:

а) с минимальным значением признака удлинённости; б) с максимальным значением признака удлинённости; в) с минимальным значением числового индекса верхушки; г) с максимальным значением числового индекса верхушки; д) с минимальным значением числового индекса основания; е) с максимальным значением числового индекса основания; ж) с максимальным значением коэффициента асимметрии формы верхушки; з) с максимальным значением коэффициента асимметрии формы основания; и) с минимальным значением признака псевдосимметрии формы; л) с максимальным значением признака псевдосимметрии формы; м) с минимальным значением степени изрезанности края; н) с максимальным значением степени изрезанности края.

Таблица 1. Распределение листовых пластинок *Populus nigra* L. в выборках из различных местообитаний соответственно градациям анализируемых параметров

Параметр листовой пластинки	Градация параметра	Долевое участие в выборке листовых пластинок определённой градации параметра, %		
		местообитание		
		породные отвалы угольных шахт	отвалы вскрышных пород	городской парк
Длина, мм	менее 40,0	4,6	-	-
	40,0–49,9	25,0	2,4	0,1
	50,0–59,9	24,3	22,0	1,0
	60,0–69,9	21,1	23,6	14,8
	70,0–79,9	14,5	25,2	18,2
	80,0–89,9	10,5	14,6	29,5
	90,0–99,9	-	9,8	20,5
	100,0–109,9	-	2,4	14,8
	110,0 и более	-	-	1,1
Ширина, мм	менее 30,0	19,7	5,7	1,1
	30,0–39,9	23,7	30,1	5,7
	40,0–49,9	27,0	36,6	35,2
	50,0–59,9	21,7	18,7	39,8
	60,0–69,9	6,6	7,3	15,9
	70,0 и более	1,3	1,6	2,3
Признак удлинённости	менее 1,20	23,7	2,4	1,1
	1,20–1,59	48,0	48,8	45,5
	1,60–1,99	21,1	29,3	46,6
	2,00–2,39	7,2	11,4	6,8
	2,40 и более	-	8,1	-
Числовой индекс верхушки	1,01–1,26	3,3	0,8	-
	1,27–1,49	17,1	4,9	0,4
	1,50–1,74	30,3	34,1	28,3
	1,75–1,99	39,5	25,2	66,7
	2,00–2,24	9,9	19,5	4,6
	2,25–2,49	-	13,8	-
	2,50–2,74	-	1,6	-
Числовой индекс основания	0,65–0,78	4,6	11,4	-
	0,79–0,99	95,4	88,6	100,0
Коэффициент асимметрии формы верхушки	менее 0,050	67,1	56,9	78,2
	0,050–0,099	21,0	30,1	16,1
	0,100–0,149	11,2	8,1	5,7
	0,150 и более	0,7	4,9	-
Коэффициент асимметрии формы основания	менее 0,015	58,6	52,0	58,7
	0,015–0,029	31,6	26,0	34,5
	0,030–0,044	7,2	14,7	5,7
	0,045–0,059	1,9	4,9	1,1
	0,060 и более	0,7	2,4	-
Признак псевдосимметрии формы в целом	менее 0,6000	-	0,9	-
	0,6000–0,6999	-	1,7	-
	0,7000–0,7999	2,1	1,7	1,2
	0,8000–0,8999	13,2	24,8	14,5
	0,9000 и более	84,7	70,9	84,3
Степень изрезанности края, пиксели	1,2500–1,3499	13,4	2,6	-
	1,3500–1,4499	27,5	7,8	2,5
	1,4500–1,5499	42,9	40,0	20,5
	1,5500–1,6499	16,2	38,3	52,6
	1,6500–1,7499	-	10,4	23,1
	1,7500 и более	-	0,9	1,3

Значения индекса Шеннона, отражающие морфологическое разнообразие выборок листовых пластинок *P. nigra* в условиях различных местообитаний, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения индекса Шеннона, отражающие морфологическое разнообразие листовых пластинок *Populus nigra* L. в условиях различных местообитаний

Параметр листовой пластинки	Местообитание		
	породные отвалы угольных шахт	отвалы вскрышных пород	городской парк
	значения индекса Шеннона, наты		
Длина	1,677	1,710	1,665
Ширина	1,582	1,464	1,327
Признак удлинённости	1,211	1,252	0,948
Числовой индекс верхушки	1,372	1,560	0,794
Числовой индекс основания	0,187	0,354	0,000
Коэффициент асимметрии формы верхушки	0,874	1,034	0,651
Коэффициент асимметрии формы основания	0,945	1,209	0,896
Признак псевдосимметрии формы в целом	0,488	0,769	0,477
Степень изрезанности края	1,282	1,306	1,151

Максимальные значения параметра морфологического разнообразия, рассчитанные с использованием индекса Шеннона, отмечены для выборки листьев отвалов вскрышных пород (за исключением градаций, выделяемых соответственно значениям ширины). Минимальные значения морфологического разнообразия по всем анализируемым параметрам отмечены для выборки листьев городского парка (условный контроль).

Из всего многообразия известных методов биоиндикационных исследований, пожалуй, наиболее полноценным можно считать проявление асимметрии: уровень асимметрии оказывается минимальным лишь при определенных (оптимальных) условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях [3, 5, 10, 11, 24, 27]. Максимальные значения анализируемых параметров асимметрии (коэффициент асимметрии формы верхушки, коэффициент асимметрии формы основания) и минимальные значения признака псевдосимметрии формы листовой пластинки *P. nigra* отмечены нами для выборки листьев с отвалов вскрышных пород. Следовательно, в условиях местообитаний этого типа отвалов растения *P. nigra* находятся в менее благоприятных условиях в сравнении с условиями местообитаний отвалов угольных шахт и городского парка, что связано, по всей вероятности, со щелочной реакцией субстрата. Согласно литературным данным [20], почвами, наиболее пригодными для видов рода *Populus* L., считаются почвы с pH = 6–7.

Исходя из различий в значениях индекса Шеннона (см. табл. 2), анализируемые морфологические признаки можно разделить на три группы. Для первой группы признаков характерно существенное возрастание разнообразия проявления при переходе от более благоприятных условий произрастания (городской парк) к менее благоприятным (отвалы вскрышных пород). К таким признакам относятся числовой индекс верхушки (значение индекса Шеннона возрастает от 0,794 до 1,560) и коэффициент асимметрии формы верхушки листовой пластинки (значение индекса Шеннона меняется от 0,651 до 1,034). Вторая группа признаков – умеренное возрастание их разнообразия. К этой группе следует отнести признак удлинённости, числовой индекс основания, коэффициент асимметрии формы основания, признак псевдосимметрии формы листовой пластинки в целом (изменения значений индекса Шеннона см. по табл. 2). Третья группа – незначительное возрастание разнообразия проявляется при переходе от более благоприятных к менее благоприятным условиям произрастания. Третью группу составляют такие признаки, как длина и степень изрезанности края листовой пластинки (см. табл. 2).

Проявление разнообразия признака характеризует его изменчивость. По мнению А. Т. Сафаргалиной с соавторами [17], проводившими исследования проявлений стратегий жизни *Atriplex patula* L. в онтогенезе, возрастание общей изменчивости признака при ухудшении экологических условий является случаем проявления дивергентной онтогенетической тактики.

Также возрастание общей изменчивости признака в условиях нарастания стресса можно трактовать как поиск путей морфологической адаптации. Дальнейшая стабилизация признака будет свидетельствовать о нахождении пути адаптивного морфогенеза и направлении энергии на поддержание стабильности важного адаптивного признака [17]. В этом случае можно предположить дивергентно-конвергентную онтогенетическую тактику.

Снижение морфологической целостности *P. nigra* в условиях отвалов вскрышных пород, о чём свидетельствуют максимальные значения параметра морфологического разнообразия листовых пластинок, может являться случаем дивергентной или дивергентно-конвергентной онтогенетической тактики, за исключением признаков, отражающих флуктуирующую асимметрию, так как данный тип асимметрии не может иметь адаптивный характер.

Нами выявлен флуктуирующий характер асимметрии формы верхушки и основания листовой пластинки *P. nigra*.

Вместе с тем, возрастание морфологического разнообразия листовых пластинок *P. nigra* в условиях отвалов вскрышных пород может быть следствием нарушения онтогенеза его листа в неблагоприятных условиях и появлением листовых пластинок с нетипичными для вида параметрами.

Изложенное выше свидетельствует о дестабилизации большей части морфологических признаков листовой пластинки *P. nigra* в менее благоприятных условиях произрастания.

Выводы

1. Из анализа большинства параметров листовых пластинок *P. nigra* выявлено увеличение их морфологического разнообразия в ряду местообитаний: городской парк – породные отвалы угольных шахт – отвалы вскрышных пород. В неблагоприятных условиях произрастания имеет место дестабилизация большей части морфологических признаков листовой пластинки данного вида.

2. Существенное возрастание проявления разнообразия при переходе от более благоприятных условий произрастания к менее благоприятным отмечено для числового индекса верхушки и коэффициента асимметрии формы верхушки листовой пластинки *P. nigra*. Признак удлинённости, числовой индекс основания, коэффициент асимметрии формы основания, признак псевдосимметрии формы листовой пластинки в целом характеризуются умеренным возрастанием проявления разнообразия в условиях, не соответствующих оптимуму для данного вида. Незначительное возрастание проявления разнообразия при переходе от более благоприятных к менее благоприятным условиям произрастания выявлено для таких признаков как длина и степень изрезанности края листовой пластинки.

3. Применяемый метод анализа морфологического разнообразия листовых пластинок *P. nigra* может стать одним из методов биоиндикации и мониторинга состояния окружающей среды.

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.

Andreeva, M.V., Assessment of Environmental Conditions in Plantations Exposed to Industrial Emissions Using Plant Indicators, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Forestry and Silviculture, Forest Fires and Preventive Measures) Dissertation*, SPb., 2007.

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-конф. (июль 2009 г.). – СПб.: ЛТА, 2009. – С. 11–13.

- Bessonova, N.V.**, The Use of the Bioindication Method to Assess of the Environmental State of Various Sites in the City of Khabarovsk, in *Lesa Rossii v XXI veke: materialy I mezhdunar. nauch.-pract. internet-konf. (iyul 2009 g.)* (Forests of Russia in the XXI Century. Proc. of the 1st Int. Sci.-Pract. Internet-Conference (July 2009), St. Peterburg: LTA, 2009, pp. 11–13.
3. **Будилов В.В.** Флуктуирующая асимметрия членистоногих биоценозов правобережья реки Сура / В.В. Будилов, А.Ю. Исайкин // Актуальные проблемы биологии, экологии, методики преподавания и педагогики: матер. Всерос. науч.-практ. конф. «45-е Евсевьевские чтения». – Саранск, 2009. – С. 10–13.
Budilov, V.V., and Isaykin, A.Yu., Fluctuating Asymmetry of Arthropod Biocenoses of the Right Bank of the Sura River, in *Aktualnye problemy biologii, ekologii, metodiki prepodavaniya i pedagogiki: mater. vseros. nauch.-practic. konf. «45-e Evsevievskie chteniya»* (Actual Problems of Biology, Ecology, Teaching Methods and Pedagogy. Proc. All-Russian Sci-Pract. Conf. “The 45th Readings in the Honour of Evseviev”, Saransk, 2009, pp. 10–13.
 4. **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.
Bukharina, I.L., Povarnitsina, T.M., and Vedernikov, K.E., *Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rastenii v urbanizirovannoi srede* (Ecological and Biological Features of Woody Plants in the Urban Environments), Izhevsk: FGOU VPO “Izhevskaya GSHA” (Federal State Educational Institution of Higher Professional Education “Izhevsk State Agricultural Academy”), 2007.
 5. **Гелашвили Д.Б.** Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* / Д.Б. Гелашвили, В.Н. Якимов, В.В. Логинов, Г.В. Епланова // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: сб. науч. тр. – Тольятти, 2004. – Вып. 7. – С. 45–59.
Gelashvili, D.B., Yakimov, V.N., Loginov, V.V., and Yeplanova, G.V., Statistical Analysis of Fluctuating Asymmetry of Bilateral Features in Stepprunner, *Eremias arguta*, *Aktualnye problemy gerpetologii i toxinologii: sb.nauch. tr.* (Actual Problems of Herpetology and Toxinology. Proc.), Togliatti, 2004, vol. 7, pp. 45–59.
 6. **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.
Gendels, T.V., and Budantsev, L.Yu., Study on Variation of the Leaf Blade Shape in *Populus deltoides* (Salicaceae) Using a Numerical Index, *Botan. Zhurn.* (Botanical Journal), 1991, vol. 76, no. 5, pp. 747–752.
 7. **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.
Zhukov, A.V., Shtirts, Yu.A., and Zhukov, S.P., Evaluation of Morphological Variability of *Betula pendula* Roth Leaf Blades in Ecosystems Varying in Their Degree of Anthropogenic Transformation (Using Methods of Geometric Morphometrics), *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogenenogo regiona* (Problems of Ecology and Nature Protection in Technogenous Region), 2011, vol. 1 (11), pp. 128–134.
 8. **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.
Zhukov, S.P., Plants Resistant to the Soil Acidity in Dump Phytocenoses in Donbas, *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogenenogo regiona* (Problems of Ecology and Nature Protection in Technogenous Region), 2011. vol. 1 (11), pp. 230–234.
 9. **Зайцева И.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.
Zaitseva, I.O., Bioecological Mechanisms of Woody Plants Adaptation in the Steppe of Ukraine, *Extended Abstract of Doc. Sci. (Ecol.) Dissertation*, Dnipropetrovsk, 2012.
 10. **Захаров В.М.** Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / В.М. Захаров // Экология. – 2001. – № 3. – С. 177–191.
Zakharov, V.M., *Ontogenez i populiatsiya (stabilnost razvitiya i populyatsionnaya izmenchivost)* Ontogeny and Population (Developmental Stability and Population Variability), *Ekologiya* (Ecology), 2001, vol. 3, pp. 177–191.
 11. **Захаров В.М.** 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.
Zakharov, V.M., Baranov, A.S., and Borisov, V.I., et al., Environmental Health: Assessment Techniques. Assessment of Natural Populations by Their Developmental Stability: Technical Guidelines for Reserves, Moscow, Tsentr Ekologicheskoi politiki Rossii (Center for Russian Environmental Policy), 2000.

12. **Исаков В.Н.** Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации / В.Н. Исаков, Л.И. Висковатова, Я.Я. Лейшовник. – Рига: Зинатне, 1984. – 196 с.
Isakov, V.N., Viskovatova, L.I., and Leyshovnik, Ya. Ya., *Issledovanie morfologii lista drevesnykh sredstvami avtomatizatsii* (Leaf Morphology Study in Woody Plants by Means of Automatic Facilities), Zinatne, Riga, 1984.
13. **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.
Migalina, S.V., Ivanova, L.A., and Makhnev, A.K., Birch Leaf Size As an Indicator of the Species Productivity Beyond Its Climatic Optimum, *Fiziologiya rastenii* (Plant Physiology), 2009, vol. 56, no. 6, pp. 948–953.
14. **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.
Nizhegorodtsev, A.A., Pseudosymmetry of Plant Objects as a Bioindication Index: a Theoretical Background, Automatization of Assessments, Approbation, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Ecology) Dissertation*, Nizhny Novgorod, 2010.
15. **Половникова М.Г.** Экофизиология стресса. Электронное учебное пособие / М.Г. Половникова. – Марийский государственный университет, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.marsu.ru/GeneralInformation/struktur/HelpUnits/libr/resours/ecofisiologia%20stressa/index.htm>
Polovnikova, M.G., *Ekofiziologiya stressa* (Ecophysiology of Stress), Mariyskii gosudarsvennyi universitet (Mari State University), 2010. <http://new.marsu.ru/GeneralInformation/struktur/HelpUnits/libr/resours/ecofisiologia%20stressa/index.htm>
16. **Савинов А.Б.** Фенотипическая индикация ценопопуляций растений в условиях техногенеза / А.Б. Савинов // Экологический мониторинг. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2003. – Ч. 5. – С. 300–323.
Savinov, A.B., Phenotypic Indication of Plant Cenopopulations in Technogenous Conditions, *Environmental monitoring*, Nizhny Novgorod: Izd-vo NNGU, 2003, vol. 5, pp. 300–323.
17. **Сафаргалина А.Т.** Проявления стратегий жизни *Atriplex patula* L. в онтогенезе / А.Т. Сафаргалина, С.А. Хусаинова, А.Р. Ишбирдин // Изв. Самарского науч. центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 5 (2). – С. 112–114.
Safargalina, A.T., Khusainova, S.A., and Ishbirdin, A.R., Manifestations of the *Atriplex patula* L. Life Strategies During Ontogenesis, *Izv. Samarskogo nauch. tsentra RAN* (The Bulletin of Samara Scientific Center of the RAS), 2011, vol. 13, no. 5 (2), pp. 112–114.
18. **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.
Smirnova, O.V., Zaugolnova, L.B., Taronova, N.A., and Falikov, L.D., Criteria of Age-Related States and Ontogenesis Features in Plants of Various Biomorphs, *Tsenopopulyatsii rastenii (osnovnye ponyatiya i struktura)* (Plant Cenopopulations (Basic Concepts and Structure)), Moscow: Nauka, 1976, vol. 1., pp. 14–43.
19. **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.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm
Stakovetskaya, O.K., Kulikova, N.A., and Sovetova, Ye.S., Evaluation of Environmental Air Condition Using Bioindication Methods. http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm
20. **Филимонова В.Д.** Культура тополей за границей // Валентина Дмитриевна Филимонова – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 135 с.
Filimonova, V.D., *Kultura topolei za granitsei* (Cultivated Poplars in Foreign Countries), Moscow: Goslesbumizdat, 1962.
21. **Хузина Г.Р.** Влияние урбано среды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) / Г.Р. Хузина // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биол. – 2010. – Вып. 3. – С. 53–57.
Huzina, G.R., Influence of Urban Environments on Morphometric Indicators of the Birch (*Betula pendula* Roth) Leaves, *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Ser. Biol.* (Bulletin of the Udmurt University. Biology Series), 2010, vol. 3, pp. 53–57.
22. **Givnish, T.J.,** Ecological Aspects of Plant Morphology: Leaf Form in Relation to Environment, *Acta Biotheor.*, 1978, vol. 27, pp. 83–142.
23. **Niinemets, Ü.,** Portsmouth, A., and 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, pp. 28–40.

24. **Parsons, P.A.**, Fluctuating Asymmetry: an Epigenetic Measure of Stress, *Biol. Rev.*, 1990, vol. 65, pp. 131–145.
25. **Shannon, C.A.**, Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technology Journal*, 1948, vol. 27, pp. 379–423.
26. **Shannon, C.**, and Weaver, W., *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana: University of Illinois Press, 1949.
27. **Thoday, J.M.**, Homeostasis in a Selection Experiment, *Heredity*, 1958, vol. 12, no. 4, pp. 401–415.
28. **Vogel, S.**, Leaves in the Lowest and Highest Winds: Temperature, Force and Shape, *New Phytologist*, 2009, vol. 183, pp. 13–26.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 18.07.2013

УДК 574.2:57.018.634.722:581.4

МОРФОЛОГІЧНА РІЗНОМАНІТНІСТЬ ЛИСТКОВИХ ПЛІАСТИНОК *POPULUS NIGRA* L.

В УМОВАХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДВАЛІВ

Ю.О. Штірц

Донецький ботанічний сад НАН України

Проведено аналіз морфологічної різноманітності листкових пластинок *Populus nigra* L. в умовах двох типів промислових відвалів. В основу аналізу було покладено представленість у вибірках листкових пластинок різних градацій відповідно значенню досліджуваних параметрів. За більшістю аналізованих параметрів відзначено збільшення морфологічної різноманітності листкових пластинок *P. nigra* у низці місцезростань: міський парк – породні відвали вугільних шахт – відвали розкривних порід. У несприятливих умовах зростання має місце дестабілізація більшої частини морфологічних ознак листкової пластинки цього виду. Істотне зростання прояву різноманітності при переході від більш сприятливих умов зростання до менш сприятливих відзначено для числового індексу верхівки та коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки *P. nigra*. Ознака подовженості, числовий індекс основи, коефіцієнт асиметрії форми основи, ознака псевдосиметрії форми листкової пластинки в цілому характеризуються помірним зростанням прояву різноманітності в умовах, що не відповідають оптимуму для цього виду. Незначне зростання прояву різноманітності при переході від більш сприятливих до менш сприятливих умов зростання виявлено для таких параметрів, як довжина та ступінь розрізаності краю листкової пластинки. Застосований метод аналізу морфологічної різноманітності листкових пластинок *P. nigra* може стати при аналогічному аналізі інших деревних рослин одним з методів біоіндикації та моніторингу стану навколишнього середовища.

UDC 574.2:57.018.634.722:581.4

MORPHOLOGIC DIVERSITY OF *POPULUS NIGRA* L. LEAF BLADES

IN INDUSTRIAL DUMP CONDITIONS

Yu.A. Shtirts

Donetsk Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine

The analysis of morphological diversity of *Populus nigra* L. leaf blades was conducted in two types of industrial dumps. This analysis was based on representation of various gradations according to studied parameter values within the leaf blade samples. We observed the increasing morphological diversity of most analyzed features in *P. nigra* L. leaf blades from habitat to habitat as follows: a city park – coal mine dumps – overburden rock dumps. The most part of morphological features in this species are unstable under adverse growing conditions. When regarding habitats from more to less favorable conditions, we noted a significant increase in diversity manifestation for top numerical index and top shape asymmetry coefficient of *P. nigra* L. leaf blades. The feature of elongation, numerical index of base shape asymmetry, feature of the general leaf blade shape pseudosymmetry are characterized by a gradual increase in their diversity manifestation in suboptimal for this species growth conditions. An insignificant increase in diversity manifestation from more to less suitable habitats was noted for such parameters as leaf blade length and indentation. This method of research on *P. nigra* L. leaf blade morphological diversity when applied to other tree species can be regarded as one of the methods of biological indication and monitoring of the state of environments.