

Показники асиметрії листкової пластинки *Populus nigra* L. та їх біоіндикаційна інформативність

Юлія Олексіївна Штірц

Штірц Ю.О. (2013). Показники асиметрії листкової пластинки *Populus nigra* L. та їх біоіндикаційна інформативність. *Чорноморськ. бот. ж.*, 9 (3): 349-358.

Проведено оцінку динаміки та біоіндикаційної інформативності наступних показників асиметрії листкової пластинки *Populus nigra* L.: ступінь псевдосиметрії форми в цілому, коефіцієнт асиметрії форми верхівки, коефіцієнт асиметрії форми основи. Показник псевдосиметрії форми листкової пластинки варіює від 0,5485 до 0,9796. Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки *P. nigra* для всіх аналізованих вибірок знаходиться в межах від 0,000 до 0,253, коефіцієнта асиметрії форми основи – від 0,000 до 0,152. З трьох аналізованих показників асиметрії листкової пластинки *P. nigra* коефіцієнт асиметрії форми основи є найбільш інформативним індикатором стану навколишнього середовища. Цей показник найкраще розділяє вибірки листкових пластинок з менш трансформованих екосистем й екосистем зі значним антропогенним пресингом.

Ключові слова: листкова пластинка, асиметрія, біоіндикація, дискримінантний аналіз, *Populus nigra* L.

SHIRTIS YU.A. (2013). Indicators of *Populus nigra* L. leaf blade asymmetry and their bioindicative informativeness. *Chornomors'k. bot. z.*, 9 (3): 349-358.

We have evaluated the dynamics and bioindicative informative of *Populus nigra* L. leaf blade asymmetry indicators: the degree of pseudo-symmetry form of the leaf blade in general, the asymmetry coefficient of shape of the top, and the asymmetry coefficient of shape of the base. Value of the pseudo-symmetry forms index varies from 0,5485 to 0,9796. The value of the asymmetry coefficient of shape of the top for all samples varies from 0,000 to 0,253, and of the asymmetry coefficient of shape of the base – from 0,000 to 0,152. The asymmetry coefficient of shape of the base is the best indicator of the environment state of the three analyzed parameters of *P. nigra* leaf blade asymmetry. This index divides best samples of the leaf blades from less transformed ecosystems and ecosystems with significant anthropogenic pressure.

Key words: leaf blade, assimetry, bioindication, discriminant analysis, *Populus nigra* L.

Штірц Ю.А. (2013). Показатели асимметрии листовой пластинки *Populus nigra* L. и их биоиндикационная информативность. *Черноморск. бот. ж.*, 9 (3): 349-358.

Проведена оценка динамики и биоиндикационной информативности следующих показателей асимметрии листовой пластинки *Populus nigra* L.: степень псевдосимметрии формы в целом, коэффициент асимметрии формы верхушки, коэффициент асимметрии формы основания. Показатель псевдосимметрии формы листовой пластинки варьирует от 0,5485 до 0,9796. Значение коэффициента асимметрии формы верхушки листовой пластинки *P. nigra* для всех анализируемых выборок находится в пределах от 0,000 до 0,253, коэффициента асимметрии формы основания – от 0,000 до 0,152. Из трёх анализируемых показателей асимметрии листовой пластинки *P. nigra* коэффициент асимметрии формы основания является наиболее информативным индикатором состояния окружающей среды. Этот показатель наилучшим образом разделяет выборки листовых пластинок из менее трансформированных экосистем и экосистем со значительным антропогенным пресингом.

Ключевые слова: листовая пластинка, асимметрия, биоиндикация, дискриминантный анализ, *Populus nigra* L.

Зелені насадження, які зростають в умовах техногенних територій, знаходяться під постійним впливом несприятливих факторів середовища. Цим зумовлена їх фітоіндикаційна здатність. На теперішній момент існує багато інформації стосовно індикаційної ролі деревних рослин [ANDREEVA, 2007; ОРЕКУНОВА, 2012; СТАКОВЕТСКАЯ, КУЛОВА, СОВЕТОВА, 2012; RAMAZANOVA, ASADULAEV, 2012; SPOСІВ..., 2012]. Для характеристики досить великих територій в якості біоіндикаторів необхідно віддавати перевагу використанню саме деревних рослин, тому що трав'янисті більшою мірою можуть відбивати мікробіотопічні умови [ZAKHAROV et al., 2000].

Листки деревних рослин є найбільш чутливими до умов навколишнього середовища органами рослин, під впливом різних факторів у них відбуваються морфологічні зміни [СТАКОВЕТСКАЯ, КУЛОВА, СОВЕТОВА, 2012]. На думку багатьох авторів, зміна морфології листків одного й того ж виду пов'язана зі зміною умов його зростання [GIVNISH, 1978; ISAKOV, VISKOVA TOVA, LEYSHOVNIK, 1984; ZAKHAROV, 2000; ANDREEVA, 2007; BUKHARINA, POVARNITSINA, VEDERNIKOV, 2007; NINEMETS, PORTSMUTH, TOBIAS, 2007; BESSONOVA, 2009; MIGALINA, IVANOVA, MAKHNEV, 2009; VOGEL, 2009; NIZHEGORODTSEV, 2010; KHUZINA, 2010; ZHUKOV, SHIRTITS, ZHUKOV, 2011; SHIRTITS, 2011, 2012a, 2012b; ZAJTSEVA, 2012]. Чинники зовнішнього середовища впливають на становлення особливостей остаточної структури та форми листків [MIGALINA, IVANOVA, MAKHNEV, 2009]. Визначення впливу умов зростання рослин на форму їх листків украй важко піддається безпосередньому експериментальному дослідженню, але може бути враховано непрямим шляхом, за допомогою збору матеріалу в місцях з різними умовами [ISAKOV, VISKOVA TOVA, LEYSHOVNIK, 1984].

Однією з фундаментальних проблем у сучасній біології є проблема симетрії (асиметрії). Симетричним називають об'єкт, який складається із частин, рівних відносно будь-якої ознаки [GELASHVILI et al., 2004]. У природі найчастіше зустрічаються лише приблизно симетричні об'єкти, про інваріантність яких щодо операцій симетрії також можна говорити лише приблизно [GELASHVILI et al., 2004].

Метою наших досліджень була оцінка динаміки та біоіндикаційної інформативності наступних показників асиметрії листкової пластинки *Populus nigra* L.: ступінь псевдосиметрії форми в цілому, коефіцієнт асиметрії форми верхівки, коефіцієнт асиметрії форми основи. Слід зазначити, в умовах південного сходу України *P. nigra* зустрічається в біотопах різних типів, що дає можливість досліджувати морфологічну мінливість його листкової пластинки в умовах різних екологічних факторів і надалі оцінити перспективність застосування даного виду як біоіндикатора стану навколишнього середовища.

Матеріали і методи

Збір листків здійснювали в літні періоди 2010–2012 рр. з укорочених пагонів нижньої частини крони деревних рослин зрілої стадії генеративного періоду. Визначення вікового стану дерев проводили за системою О.В. СМІРНОВОЇ та ін. [SMIRNOVA et al., 1976]. Враховуючи схильність *P. nigra* до гібридизації з близькоспорідними видами, обирали екземпляри рослин із чітко вираженими морфологічними ознаками видової приналежності. Місцями збору листків були породний відвал шахти № 6–14 у м. Макіївці, породний відвал № 1 шахти Чулковка № 8 у м. Донецьку, ряд відвалів розкривних порід Докучаєвського флюсо-доломітного комбінату Донецької області.

Екотопи породних відвалів вугільних шахт характеризуються кислою реакцією субстратів, відвали Докучаєвського флюсо-доломітного комбінату – лужною реакцією. За механічним складом, родючістю, засоленістю едафотопів для зазначених відвалів відзначено високий ступінь подібності [ZHUKOV, 2011].

Для порівняння аналізованих параметрів листкових пластинок *P. nigra*, що зростають в умовах техногенних територій, з параметрами листкових пластинок даного виду з менш трансформованих екосистем, були зібрані листки на території парку культури та відпочинку ім. А. С. Щербакова в м. Донецьку. Ця територія була нами прийнята як умовний контроль.

Листки було відскановано. Обсяг вибірки склав в умовах породних відвалів вугільних шахт 380 листкових пластинок, відвалів розкривних порід – 307, міського парку – 264 листові пластинки.

З метою оцінки симетричності форми листкової пластинки в цілому використана програма для розрахунку ступеня псевдосиметрії щодо дзеркального відображення для плоских білатерально симетричних об'єктів – Biological Pseudosymmetry (BioPs) – біологічна псевдосиметрія. Оцінка псевдосиметрії в цьому випадку заснована на розрахунку інтегральної згортки:

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

де η – ступінь симетричності, A – матриця яскравостей вихідного зображення, B – матриця яскравостей, отримана в результаті відбиття матриці A щодо обраної площини. Оскільки ми маємо справу із сумою позитивних чисел, що задають яскравості пікселів, то діапазон зміни ступеня симетрії лежить у межах від нуля (для повністю несиметричного об'єкта) до одиниці (для абсолютно симетричного). При розрахунку ступеня псевдосиметрії реалізовано підхід без урахування яскравостей пікселів, при цьому неоднорідності всередині об'єкта не враховують. Яскравість пікселів фону дорівнює 0, а яскравість пікселів об'єкта дорівнює 255. Інакше кажучи, для програми об'єкт виглядає як біла пляма на чорному фоні з проведеною через нього (об'єкт) площиною симетрії [NIZHEGORODTSEV, 2010]. Таким чином, враховано ступінь інваріантності за конгруентністю (формою) без урахування ступеня яскравості кольору листка. Площину відбиття було обрано за декількома крапками центральної жилки.

Оцінку асиметрії форми верхівки й основи листкової пластинки проводили з використанням числового індексу, методику розрахунку якого наведено в роботі Т. Н. ГЕНДЕЛЬС, Л. Ю. БУДАНЦЕВА [GENDELS, BUDANTSEVA, 1991]. Кут, під яким відходили радіуси-вектори від центра (відповідно до згаданої методики), склав 20°. Числовий індекс розраховували для лівого та правого боків листкової пластинки. Коефіцієнт асиметрії верхівки (або основи) листкової пластинки розраховували за формулою: $I_L - I_R / (I_L + I_R)$, де I_L і I_R – значення числового індексу верхівки (або основи) відповідно на лівому та правому боках листкової пластинки. Виміри проводили в програмі Image 1.43u.

З метою виявлення показника асиметрії, динаміка якого найбільшою мірою диференціює місця зростання *P. nigra*, проводили дискримінантний аналіз. Статистична обробка даних проведена в пакеті STATISTICA 6.0.

Результати та обговорення

Показник псевдосиметрії (ступеня інваріантності) форми листкової пластинки *P. nigra* аналізованих вибірок варіює від 0,5485 до 0,9796. Листкові пластинки з мінімальним і максимальним значеннями показника відображено на рис. 1.

Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки для всіх аналізованих вибірок знаходиться в межах від 0,000 до 0,253, коефіцієнта асиметрії форми основи – у межах від 0,000 до 0,152. Листкові пластинки з максимальними

значеннями коефіцієнта асиметрії форми верхівки та коефіцієнта асиметрії форми основи відображено на рис. 2.

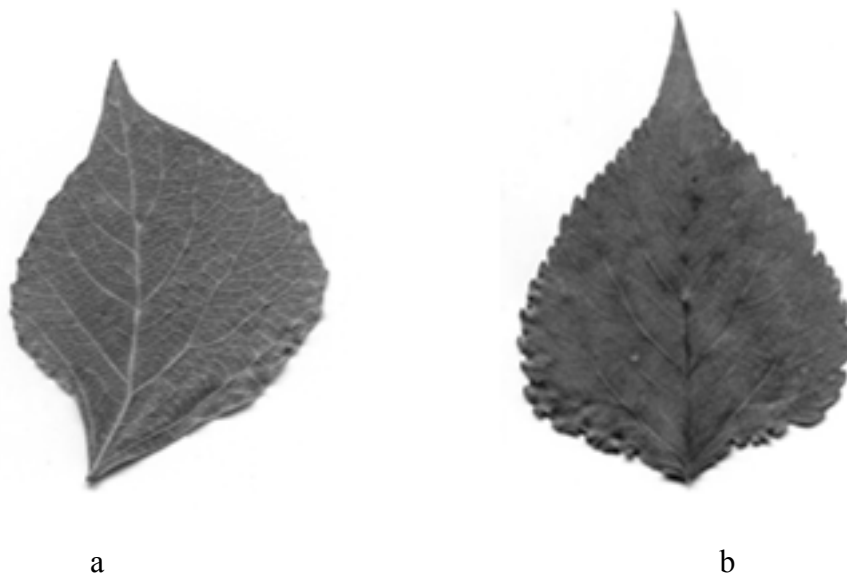


Рис. 1. Листкові пластинки *Populus nigra* L. з мінімальним і максимальним значеннями показника псевдосиметрії форми: а) з мінімальним значенням (0,5485); б) з максимальним значенням (0,9796).

Fig. 1. *Populus nigra* L. leaf blades with minimum and maximum values of the pseudo-symmetry forms index: a) the minimum value (0,5485); b) the maximum value (0,9796).



Рис. 2. Листкові пластинки *Populus nigra* L.: а) з максимальним значенням коефіцієнта асиметрії форми верхівки (0,253); б) з максимальним значенням коефіцієнта асиметрії форми основи (0,152).

Fig. 2. *Populus nigra* L. leaf blades: a) with the maximum value of the asymmetry coefficient of shape of the top (0,253); b) with the maximum value of the asymmetry coefficient of shape of the base (0,152).

Породні відвали вугільних шахт

Показник псевдосиметрії форми листової пластинки варіює від 0,7119 до 0,9796, середнє значення – $0,9267 \pm 0,00421$ (тут і далі вказано надійний інтервал для $P=0,05$). Листкові пластинки зі значенням показника псевдосиметрії 0,7000–0,7999 становлять 2,1% всієї вибірки, зі значеннями 0,8000–0,8999 – 13,2%, 0,9000 і більше – 84,7% (рис. 3).

Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки *P. nigra* варіює від 0,000 до 0,154, середнє значення становить $0,043 \pm 0,0037$. Розподіл листкових пластинок в аналізованій вибірці за значенням даного показника наступний: значення коефіцієнта асиметрії нижче 0,050 – 67,1% (з них з коефіцієнтом 0,000 – 6,4%); 0,050–0,099 – 21,0%; 0,100–0,149 – 11,2%; 0,150 і більше – 0,7% вибірки (рис. 4).

Значення коефіцієнта асиметрії форми основи листкової пластинки варіює від 0,000 до 0,064, середнє значення становить $0,015 \pm 0,0014$. Розподіл листкових пластинок за значенням коефіцієнта асиметрії форми основи наступний: менше 0,015 – 58,6% (з них зі значенням 0,000 – 21,1%); 0,015–0,029 – 31,6%; 0,030–0,044 – 7,2%; 0,045–0,059 – 1,9%; 0,060 і більше – 0,7% вибірки (рис. 5).

Відвали розкривних порід

Показник псевдосиметрії форми листкової пластинки варіює від 0,5485 до 0,9681, середнє значення – $0,9097 \pm 0,00714$. Листкові пластинки зі значенням показника псевдосиметрії менше 0,6000 становлять 0,9% вибірки, 0,6000–0,6999 – 1,7%, 0,7000–0,7999 становлять 1,7% всієї вибірки, зі значеннями 0,8000–0,8999 – 24,8%, 0,9000 і більше – 70,9% (рис. 3).

Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки *P. nigra* варіює від 0,000 до 0,253, середнє значення становить $0,055 \pm 0,0050$. Листкові пластинки з коефіцієнтом асиметрії форми верхівки нижче 0,050 становлять 56,9% вибірки, з них 5,7% доводиться на листки з коефіцієнтом асиметрії 0,000. Інша частина даної вибірки розподілена наступним чином: 0,050–0,099 – 30,1%; 0,100–0,149 – 8,1%; 0,150 і більше – 4,9% вибірки (рис. 4).

Значення коефіцієнта асиметрії форми основи варіює від 0,000 до 0,152, середнє значення становить $0,020 \pm 0,0017$. Листкові пластинки з коефіцієнтом асиметрії форми основи нижче 0,015 складають 52,0% аналізованої вибірки, з них 13,8% припадає на листкові пластинки з коефіцієнтом 0,000. Інша частина вибірки: 0,015–0,029 – 26,0%; 0,030–0,044 – 14,7%; 0,045–0,059 – 4,9%; 0,060 і більше – 2,4% вибірки (рис. 5).

Міський парк

Показник псевдосиметрії форми листкової пластинки варіює від 0,7792 до 0,9673, середнє значення – $0,9268 \pm 0,00417$. Листкові пластинки зі значенням показника псевдосиметрії 0,7000–0,7999 складають 1,2% всієї вибірки, зі значеннями 0,8000–0,8999 – 14,5%, 0,9000 і більше – 84,3% (рис. 3).

Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки *P. nigra* варіює від 0,000 до 0,111, середнє значення становить $0,029 \pm 0,0025$. Розподіл листкових пластинок в аналізованій вибірці за значенням даного показника має наступний вигляд: значення коефіцієнта асиметрії менше 0,050 – 78,2% (з них зі значенням 0,000 – 20,7%); 0,050–0,099 – 16,1%; 0,100–0,149 – 5,7% вибірки (рис. 4).

Значення коефіцієнта асиметрії форми основи варіює від 0,000 до 0,045, середнє значення становить $0,015 \pm 0,0013$. Розподіл листкових пластинок за значенням коефіцієнта асиметрії форми основи: менше 0,015 – 58,7% (з них зі значенням 0,000 – 18,4%); 0,015–0,029 – 34,5%; 0,030–0,044 – 5,7%; 0,045–0,059 – 1,1% вибірки (рис. 5).

Слід зазначити, що максимальні значення всіх аналізованих показників асиметрії відзначені для вибірки листків відвалів розкривних порід, що, ймовірно, пов'язано з лужною реакцією субстрату. Ґрунтами, найбільш придатними для видів роду *Populus*, вважають ґрунти з рН, рівним 6–7 [FILIMONOVA, 1962].

Проведений дискримінантний аналіз показав наступне. Виходячи з аналізу коефіцієнтів дискримінантних функцій, слід зазначити, що для першої дискримінантної функції найбільше значення має коефіцієнт асиметрії форми основи листкової

пластинки. Внесок двох інших змінних значно нижче (табл. 1). Відповідно до значень середніх канонічних змінних, перша дискримінантна функція відокремлює вибірку листкових пластинок міського парку від вибірок з техногенних територій (табл. 2).

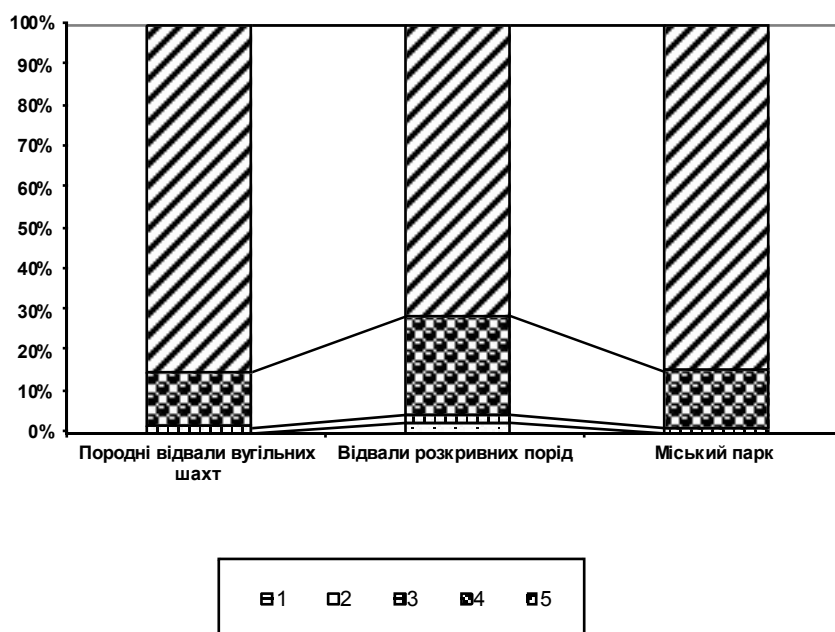


Рис. 3. Розподіл листкових пластинок *Populus nigra* L. у вибірках з різних екосистем відповідно значенню показника псевдосиметрії форми: 1) менше 0,6000; 2) 0,6000–0,6999; 3) 0,7000–0,7999; 4) 0,8000–0,8999; 5) 0,9000 і більше.

Fig. 3. Allocation of the *Populus nigra* L. leaf blades in samples from different ecosystems according to the value of the pseudo-symmetry forms index: 1) less than 0,6000; 2) 0,6000–0,6999; 3) 0,7000–0,7999; 4) 0,8000–0,8999; 5) more than 0,9000.

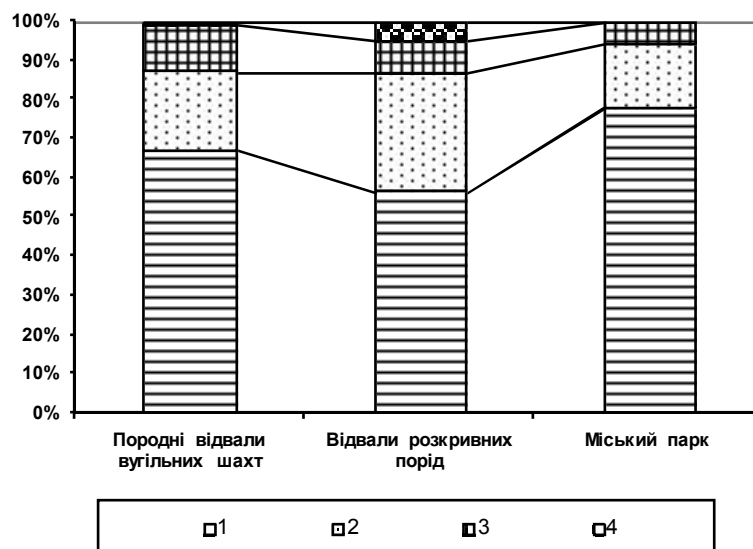


Рис. 4. Розподіл листкових пластинок *Populus nigra* L. у вибірках з різних екосистем відповідно значенню коефіцієнта асиметрії форми верхівки: 1) менше 0,050; 2) 0,050–0,099; 3) 0,100–0,149; 4) 0,150 і більше.

Fig. 4. Allocation of the *Populus nigra* L. leaf blades in samples from different ecosystems according to the value of the asymmetry coefficient of shape of the top: 1) less than 0,050; 2) 0,050–0,099; 3) 0,100–0,149; 4) more than 0,150.

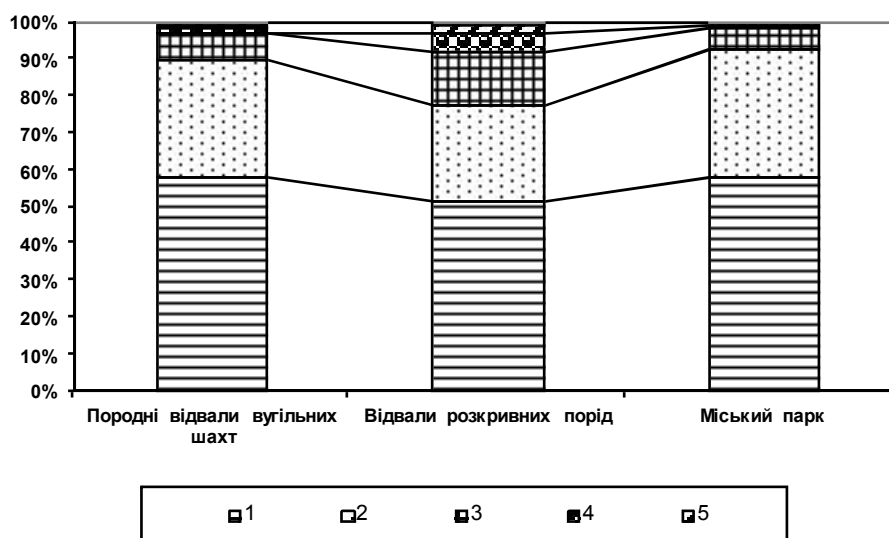


Рис. 5. Розподіл листкових пластинок *Populus nigra* L. у вибірках з різних екосистем відповідно значенню коефіцієнта асиметрії форми основи: 1) менше 0,015; 2) 0,015–0,029; 3) 0,030–0,044; 4) 0,045–0,059; 5) 0,060 і більше.

Fig. 5. Allocation of the *Populus nigra* L. leaf blades in samples from different ecosystems according to the value of the asymmetry coefficient of shape of the top: 1) less than 0,015; 2) 0,015–0,029; 3) 0,030–0,044; 4) 0,045–0,059; 5) more than 0,060.

Друга дискримінантна функція відзначена головним чином коефіцієнтом асиметрії форми верхівки, внесок показника псевдосиметрії форми листкової пластинки нижче, разом з тим він також вагомий, внесок коефіцієнта асиметрії форми основи – значно нижче (табл. 1). Дана дискримінантна функція розділяє переважно вибірку листкових пластинок породних відвалів вугільних шахт та інші вибірки, однак менш якісно (табл. 2).

Таблиця 1
Стандартизовані коефіцієнти для канонічних змінних, отримані в результаті проведення дискримінантного аналізу

Table 1
Standardized coefficients for canonical variables received as a result of discriminant analysis

Змінні (показники асиметрії листкової пластинки <i>Populus nigra</i> L.)	Корінь 1	Корінь 2
Ступінь псевдосиметрії форми в цілому	-0,04903	-0,454729
Коефіцієнт асиметрії форми верхівки	-0,02986	0,792767
Коефіцієнт асиметрії форми основи	-1,00363	0,078718

Таблиця 2
Середні канонічних змінних, отримані в результаті проведення дискримінантного аналізу

Table 2
Means of canonical variables received as a result of discriminant analysis

Вибірка листкових пластинок <i>Populus nigra</i> L.	Корінь 1	Корінь 2
Породні відвали вугільних шахт	1,33742	-0,175946
Відвали розкривних порід	0,20904	0,308783
Міський парк	-2,63625	-0,122323

Дана інтерпретація підтверджується діаграмою розсіювання (рис. 6).

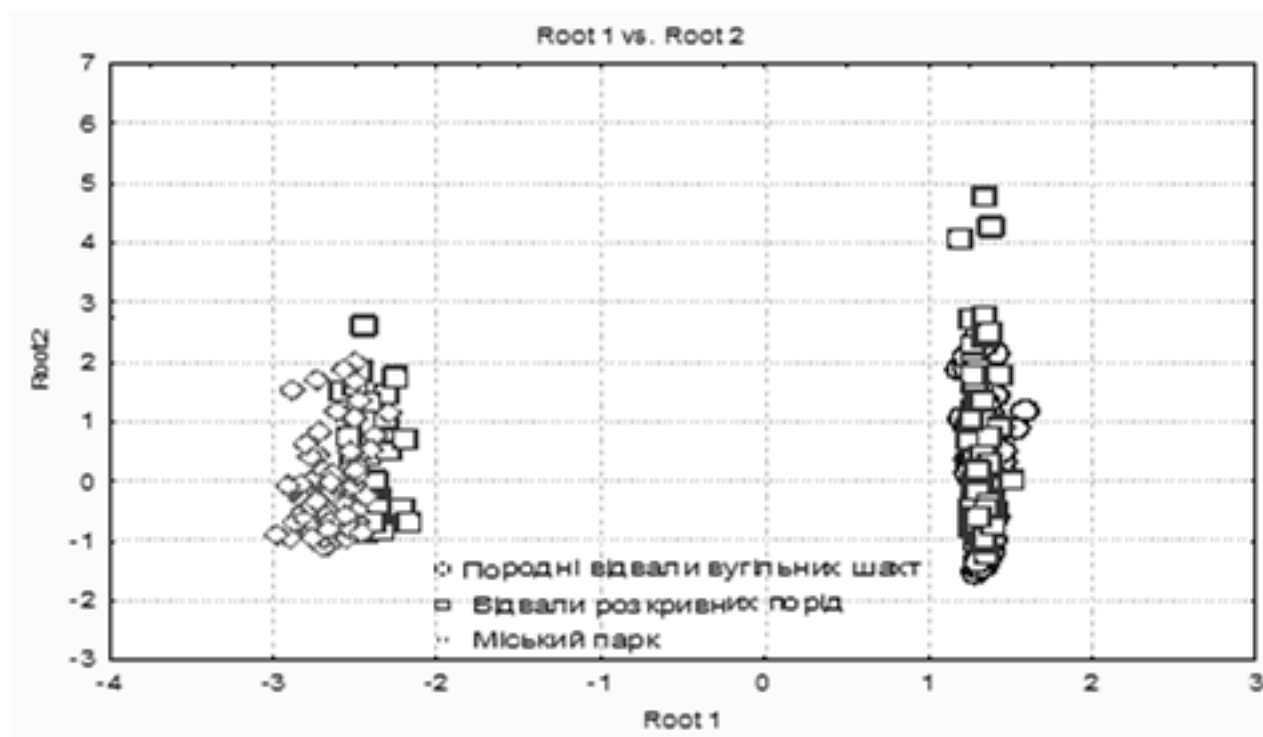


Рис. 6. Розподіл листкових пластинок *Populus nigra* L. з різних екосистем у канонічному просторі.

Fig. 6. Allocation of the *Populus nigra* L. leaf blades from different ecosystems in the canonical space.

Висновки

Показник псевдосиметрії форми листкової пластинки *P. nigra* варіює від 0,5485 до 0,9796. Для більшої частини всіх аналізованих вибірок характерна перевага листкових пластинок з показниками псевдосиметрії більше 0,9000.

Значення коефіцієнта асиметрії форми верхівки листкової пластинки змінюється в межах від 0,000 до 0,253. Основна частина листкових пластинок характеризується коефіцієнтом асиметрії форми верхівки менше 0,050.

Значення коефіцієнта асиметрії форми основи варіює в межах від 0,000 до 0,152. Основна частина листкових пластинок всіх аналізованих вибірок характеризується коефіцієнтом асиметрії форми основи менше 0,015.

З трьох аналізованих показників асиметрії листкової пластинки *P. nigra* (ступінь псевдосиметрії форми в цілому, коефіцієнт асиметрії форми верхівки, коефіцієнт асиметрії форми основи), коефіцієнт асиметрії форми основи є найбільш інформативним індикатором стану навколишнього середовища. Цей показник найкраще розділяє вибірки листкових пластинок з менш трансформованих екосистем та екосистем зі значним антропогенним пресингом.

References

- ANDREEVA M.V. (2007). Otsenka sostoyaniya okruzhayushey sredy v nasazhdeniyah v zonah promyshlennyy vyibrosov s pomoschyu rasteniy-indikatorov: Avtoref dis. ... kand. s.-h. nauk: 06.03.03. SPb.: 20 p. [АНДРЕЕВА М.В. (2007). Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. СПб.: 20 с.]

- BESSONOVA N.V. (2009). Ispolzovanie metoda bioindikatsii dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya razlichnykh rayonov v g. Habarovske. Lesa Rossii v XXI veke. Mater. I mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konferentsii (July 2009). Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. SPb.: LTA: 11-13. [БЕССОНОВА Н.В. (2009). Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске. Леса России в XXI веке. Матер. I междунар. науч.-практ. интернет-конференции (июль 2009 г.). Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия. СПб.: ЛТА: 11-13]
- BUHARINA I.L., POVARNITSINA T.M., VEDERNIKOV K.E. (2007). Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoi srede. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSNA: 216 p. [БУХАРИНА И.Л., ПОВАРНИЦИНА Т.М., ВЕДЕРНИКОВ К.Е. (2007). Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА: 216 с.]
- FILIMONOVA V.D. (1962). Kultura topoley za granitsej. M.: Goslesbumizbat: 135 p. [ФИЛИМОНОВА В.Д. (1962). Культура тополей за границей. М.: Гослесбумизбат: 135 с.]
- GELASHVILI D.B., YAKIMOV V.N., LOGINOV V.V., EPLANOVA G.V. (2004). *Sb. nauch. trudov*, 7: 45-59. [ГЕЛАШВИЛИ Д.Б., ЯКИМОВ В.Н., ЛОГИНОВ В.В., ЕПЛАНОВА Г.В. (2004). Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии. Сб. науч. трудов, 7: 45-59]
- GENDELS T.V., BUDANTSEV L.YU. (1991). *Botan. zhurn.*, 76 (5): 747-752. [ГЕНДЕЛЬС Т.В., БУДАНЦЕВ Л.Ю. (1991). Изучение изменчивости формы листовой пластинки *Populus deltoides* (Salicaceae) с помощью числового индекса. *Ботан. журн.*, 76 (5): 747-752]
- GIVNISH T.J. (1978). Ecological aspects of plant morphology: leaf form in relation to environment. *Acta Biotheor.*, 27: 83-142.
- HUZINA G.R. (2010). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biol.*, 3: 53-57. [ХУЗИНА Г.Р. (2010). Влияние урбано среды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth). *Вестник Удмурдского университета. Сер. Биол.*, 3: 53-57]
- ISAKOV V.N., VISKOVA TOVA L.I., LEYSHOVNIK YA.YA. (1984). Issledovanie morfologii lista drevesnykh sredstvami avtomatizatsii. Riga: Znatne: 196 p. [ИСАКОВ В.Н., ВИСКОВАТОВА Л.И., ЛЕЙШОВНИК Я.Я. (1984). Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. Рига: Знатне: 196 с.]
- MIGALINA S.V., IVANOVA L.A., MAHNEV A.K. (2009). *Fiziologiya rasteniy*, 56 (6): 948-953. [МИГАЛИНА С.В., ИВАНОВА Л.А., МАХНЕВ А.К. (2009). Размеры листа берёзы как индикатор её продуктивности вдали от климатического оптимума. *Физиология растений*, 56 (6): 948-953]
- NIINEMETS Ü., PORTSMUTH 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). Psevdosimetriya rastitelnykh objektov kak bioindikatsionnyi pokazatel: teoreticheskoe obosnovanie, avtomatizatsiya otsenok, aprobatsiya: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08. Nizhniy Novgorod: 24 p. [НИЖЕГОРОДЦЕВ А.А. (2010). Псевдосимметрия растительных объектов как биоиндикационный показатель: теоретическое обоснование, автоматизация оценок, апробация: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Нижний Новгород: 24 с.]
- OPEKUNOVA M.G. (2012). Primenenie drevesnykh rasteniy v geoeologicheskom monitoringe sostoyaniya tehnogennykh ekosistem. Biologicheskaya rekultivatsiya i monitoring narushennykh zemel. Mater. IX Vseross. nauch. konf s mezhdunar. uchastiem (Ekaterinburg, 20-25 august 2012). Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta IPTs UrFU: 184-190. [ОПЕКУНОВА М.Г. (2012). Применение древесных растений в геоэкологическом мониторинге состояния техногенных экосистем. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Матер. IX Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (Екатеринбург, 20-25 августа 2012 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ: 184-190]
- RAMAZANOVA Z.R., ASADULAEV Z.M. (2012). Morfologo-anatomicheskie pokazateli pobegovykh sistem *Celtis caucasica* Willd. v usloviyakh goroda Mahachkaly. Biologicheskaya rekultivatsiya i monitoring narushennykh zemel. Mater. IX Vseross. nauch. konf s mezhdunar. uchastiem (Ekaterinburg, 20-25 august 2012). Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta IPTs UrFU: 209-214. [РАМАЗАНОВА З.Р., АСАДУЛАЕВ З.М. (2012). 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 (Екатеринбург, 20-25 августа 2012 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ: 209-214]
- SHTIRTS YU.A. (2011). Varirovaniye razmera listovoy plastinki *Aser pseudoplatanus* L. v usloviyakh pridorozhnykh ekosistem goroda Donetska. Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rasteniy. Mater. VII Mezhdunar. nauch. konf (Minsk, 26-28 october 2011). Minsk: Pravo i ekonomika: 228 p. [ШТИРЦ Ю.А. (2011). Варьирование размера листовой пластинки *Acer pseudoplatanus* L. в условиях придорожных экосистем города Донецка. Регуляция роста, развития и продуктивности

- растений. Матер. VII Междунар. науч. конф. (Минск, 26-28 октября 2011 г.). Минск: Право и экономика: 228 с.]
- SHTIRTS YU.A. (2012 a). Varyirovanie razmerov listovoy plastinki *Populus nigra* L. v usloviyah promyshlennyyh otvalov Donetskoy oblasti. Biologicheskaya rekultivatsiya i monitoring narushennykh zemel. Mater. IX Vseross. nauch. konf s mezhdunar. uchastiem (Ekaterinburg, 20-25 august 2012). Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta IPTs UrFU: 305-310. [ШТИРЦ Ю.А. (2012 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 (Екатеринбург, 20-25 августа 2012 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та ИПЦ УрФУ: 305-310]
- SHTIRTS YU.A. (2012 b). *Promislova botanika. Zb. naukovih prats.* Donetsk: Donetskiiy botanichniy sad NAN Ukraini, **12**: 31-36. [ШТИРЦ Ю.А. (2012 б). Оценка изменчивости верхушки и основания листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов. *Промислова ботаника. Зб. наукових праць.* Донецьк: Донецький ботанічний сад НАН України. **12**: 31-36]
- SMIRNOVA O.V., ZAUGOLNOVA L.B., TARONOVA N.A., FALIKOV L.D. (1976). Kriterii vydeleniya vozrastnykh sostoyaniy i osobennosti hoda ontogeneza u rasteniy razlichnykh biomorf tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnyie ponyatiya i struktura). Ch. I. M.: Nauka: 14-43. [СМИРНОВА О.В., ЗАУГОЛЬНОВА Л.Б., ТАРОНОВА Н.А., ФАЛИКОВ Л.Д. (1976). Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф. ценопопуляции растений (основные понятия и структура). Ч. I. М.: Наука: 14-43]
- SPOBIV fitotestuvannya tekhnogenykh ekotopiv. Hlukhov O.Z., Zhukov S.P., Ahurova I.V., Prokhorova S.I., Shtirts Yu.O. Patent 70512 UA, MPK A01G7/00. Patent na korysnu model № u 201115376. Zayavl. 26.12.11. Opubl. 11.06.12. Byul. 11. [СПОБІВ фітотестування техногенних екотопів. Глухов О.З., Жуков С.П., Агурова І.В., Прохорова С.І., Штирц Ю.О. Патент 70512 UA, МПК А01G7/00. Патент на корисну модель № u 201115376. Заявл. 26.12.11. Опубл. 11.06.12. Бюл. 11]
- STAKOVETSKAYA O.K., KULIKOVA N.A., SOVETOVA E.S. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vozduшной sredey metodami bioindikatsii. [Electronic resource]. Rezhim dostupa: http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm [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]
- VOGEL S. (2009). Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape. *New Phytologist*, **183**: 13-26.
- ZAHAROV V.M., BARANOV A.S., BORISOV V.I. i dr. (2000). Zdorovje sredey: metodika otsenki. Otsenka sostoyaniya prirodnykh populyatsiy po stabilnosti razvitiya: metodologicheskoe rukovodstvo dlya zapovednikov. M.: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii: 66 p. [ЗАХАРОВ В.М., БАРАНОВ А.С., БОРИСОВ В.И. и др. (2000). Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников. М.: Центр экологической политики России: 66 с.]
- ZAYTSEVA I.O. (2012). Bioekologichni mehanizmi adaptatsiyi derevnykh introdutsentiv u stepoviy zoni Ukrainy: Avtoref dis. ... dok. biol. nauk: 03.00.16. Dnipropetrovsk: 40 p. [ЗАЙЦЕВА І.О. (2012). Біоекологічні механізми адаптації деревних інтродуцентів у степовій зоні України: Автореф. дис. ... док. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ: 40 с.]
- ZHUKOV A.V., SHTIRTS YU.A., ZHUKOV S.P. (2011). *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona*, **1** (11): 128-134. [ЖУКОВ А.В., ШТИРЦ Ю.А., ЖУКОВ С.П. (2011). 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*, **1** (11): 128-134]
- ZHUKOV S.P. (2011). *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona*, **1** (11): 230-234. [ЖУКОВ С.П. (2011). Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса. *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*, **1** (11): 230-234]

Рекомендує до друку
М.Ф. Бойко

Отримано 07.05.2013 р.

Адреса авторів:

Ю.О. Штирц

Донецький ботанічний сад НАН України

пр. Ілліча, 110

Донецьк, 83059

Україна

e-mail: strelkova@i.ua

Author's address:

Yu.A. Shtirts

Donetsk Botanical Garden of the NAS of Ukraine

Prospekt Illicha, 110

Donetsk, 83059

Ukraine

e-mail: strelkova@i.ua