

МОРФОЛОГІЧНА ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОТОПІВ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛІВ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС

Семак У.Й., Миленька М.М.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, 76000, Івано-Франківськ
ulianasemak@gmail.com, mulenka.m@gmail.com

Запропоновано алгоритм оцінки рівня техногенної трансформації екотопів Бурштинської ТЕС за морфологічними реакціями *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth. У ході дослідження здійснено аналіз морфометричних показників листових пластинок видів-індикаторів. Охарактеризовано зміну форми листових пластинок на території золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС. Для морфологічного аналізу використано коефіцієнт форми та коефіцієнт видовженості, що відображають ступінь модифікації листків. Показано, що морфометричні коефіцієнти листових пластинок в умовах високих рівнів антропопресії визначаються видовою специфічністю. Так коефіцієнт видовженості відобразив високі рівні техногенного навантаження на золошлаковідвалах тільки у одного модельного виду – *P. tremula*. Коефіцієнт форми виявився чутливим показником техногенного навантаження у *P. tremula* та *B. pendula*, проте залишається стабільним в умовах стресу у *S. caprea*. Досліджено зміну площі та рівня некротизації листків в умовах впливу факторів техногенно трансформованого середовища. В усіх трьох моніторингових видів спостерігається зменшення площі листків у стресових умовах – найбільше скорочення площі зафіксовано у *S. caprea*, найменше – у *B. pendula*. Досліджено рівень некротизації листових пластинок, що на золошлаковідвалах коливається в межах від 18.65 % до 11.17 %. Найчастіше тут трапляється некроз типу «риб'ячий скелет». Найвищий рівень ушкодженості некрозами спостерігався у *P. tremula*, найнижчий – у *S. caprea*. Встановлено диференційну стійкість видів-індикаторів за ушкодженістю асиміляційного апарату: *Salix caprea* L. < *Betula pendula* Roth. < *Populus tremula* L. (у спаданні зростання стійкості). Така ж тенденція щодо некротичних уражень. Морфологічні коефіцієнти, показники площі асиміляційного апарату та рівень його ушкодження доцільно використовувати у фітоіндикаційних дослідженнях. **Ключові слова:** дендроіндикація, техногенний екотоп, листові пластинки, коефіцієнт видовженості, коефіцієнт форми, площа асиміляційної поверхні, некротизація.

Morphological dendroindication of the level of technogenic transformation of ecotopes of ash and slag dumps of Burshtyn TPP. Semak U., Mylenka M.

An algorithm for estimating the level of technogenic transformation of ecotopes of Burshtyn TPP by morphological reactions of *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth is proposed. In the course of the research the analysis of morphometric indicators of leaf plates of species-indicators was carried out. The change in the shape of leaf blades on the territory of ash and slag dumps of Burshtynka TPP is observed. For morphological analysis, the shape coefficient and the elongation coefficient were used, which reflect the degree of leaf modification. The lability and bioindication informativeness of the calculated coefficients of morphological indicators are revealed. It is shown that morphometric coefficients of leaf blades are determined by species specificity in conditions of high levels of influence of technogenic factors. The elongation coefficient is an informative indicator only for *P. tremula*, and the form coefficient indicator is for *P. tremula* and *B. pendula*. The least suitable for bioindication by morphometric parameters of the leaf blade is *S. caprea*. The change of the area and level of necrotization of leaves in the conditions of influence of factors of technogenic transformed environment is investigated. The decrease in leaf area in the conditions of ash-slag dump is most pronounced for *S. caprea*, and the lowest – for *B. pendula*. The level of necrotization of the studied species ranges from 18.65 % to 11.17 %. «Fish skeleton» necrosis is the most common, indicating the highest levels of phytotoxicants. The highest levels of leaf blade necrotization in the ash-slag dump are observed for *P. tremula*, and the lowest – for *S. caprea*. The differential stability of indicator species according to the damage of the leaves was established: *Salix caprea* L. < *Betula pendula* Roth. < *Populus tremula* L. (in decreasing growth of resistance). The same trend for necrotic lesions: *P. tremula* was the most sensitive species, and *S. caprea* was the least sensitive. Morphological coefficients, indicators of the area of the leaf blade and the level of its damage could be used in phytoindication studies. **Key words:** dendroindication, technogenic ecotope, leaf blade, elongation coefficient, shape coefficient, assimilation surface area, necrotization.

Постановка проблеми. Для оцінки техногенно порушених екотопів зручним методом є використання морфометричних параметрів рослин. Найбільш інформативним об'єктом є листові пластинки, що відображають функціональний стан рослинного організму [1; 2].

Типовими реакціями асиміляційного апарату в умовах поєднання природних і антропогенних факторів є зменшення морфометричних розмірів

листоків, виникнення хлорозів та некрозів, в'янення листя, дефоліація [1-13]. Серед морфопараметрів, які доцільно використовувати як критерії стану дендробіоти – параметри площі, довжини та ширини, а також зміна форми листків [2; 6; 13].

Зміна форми листових пластинок, їх деформація, а також некрози і хлорози як результати гострого та хронічного впливу токсикантів є індикаційними реакціями рослин на дію стресових факторів техно-

генно-трансформованого середовища. Виникнення некрозів та хлорозів є наслідком надмірного забруднення фітотоксичними сполуками і свідчить про функціональні порушення у рослинному організмі [6]. Зростання дехромаційних та некротичних уражень листків відмічено у низці досліджень [3; 6; 8-13].

Площа листків виступає інформативним показником стану рослинного організму, оскільки листки володіють найвищою акумулятивною здатністю щодо поллютантів [2]. Пригнічення ростових процесів та зменшення площі перебувають у прямій залежності від ступеня забруднення [1; 8; 11].

Актуальність дослідження. Морфологічні параметри рослинних організмів в зоні впливу промислового об'єкту є інтегральним показником їх функціонального стану, який перебуває у прямій кореляційній залежності з техногенним навантаженням на біоту. Дослідження ступеня видової чутливості щодо факторів техногенного навантаження, дозволить виділити ті види, які є найбільш перспективними для біоіндикаційних досліджень. Водночас, зважаючи на санітарно-гігієнічну роль деревних рослин, вивчення їх стану в умовах техногенного пресингу, сприятиме виявленню антропоотерантних видів для подальшого використання при здійсненні заходів оптимізації навколишнього середовища.

Матеріали та методи дослідження. Об'єкт дослідження – рівень техногенної трансформації екотопів золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС. Матеріали дослідження – листки найбільш поширених на дослідній території дослідних видів – *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth.

Дослідження проводили на діючому золошлаковідвалі № 3 Бурштинської ТЕС. Територія золошлаковідвалу характеризується несприятливою екологічною ситуацією: в едафотопях відмічено накопичення важких металів, зміну природного радіоактивного фону [14]. Вивітрювання та розсіювання твердих часток різного ступеня дисперсності з поверхні чаш золовідвалів зумовлює аеротехногенне забруднення довкілля. Внаслідок потрапляння золошлакових матеріалів з чаш золовідвалів до поверхневих та ґрунтових вод, відбувається зміна їх хімічних показників.

За фонову територію обрано Галицький національний природний парк (ГНПП). Обсяг вибірок на дослідних ділянках становив 250 листків для кожного із досліджуваних видів. Відбір листків здійснювали наприкінці вегетаційного періоду, з гілок одного порядку галуження, розташованих на висоті 1-2 м над поверхнею ґрунту.

Для морфологічної оцінки стану вегетативних органів рослин перспективним є використання сучасних інформаційних технологій. Комп'ютерна обробка зображень дає більш точні результати, а також суттєво спрощує процес опрацювання даних.

Свіжозрізані листки дигіталізували та використовуючи програмний пакет CoralDRAW X6, вимірювали лінійні показники та показники площі (рис. 1).

Коефіцієнт видовженості визначали як відношення довжини листової пластинки до її ширини.

При обчисленні коефіцієнта форми (K_f) листової пластинки за ознакою площі їх частин розділяли листову пластинку поперечним перерізом на рівні

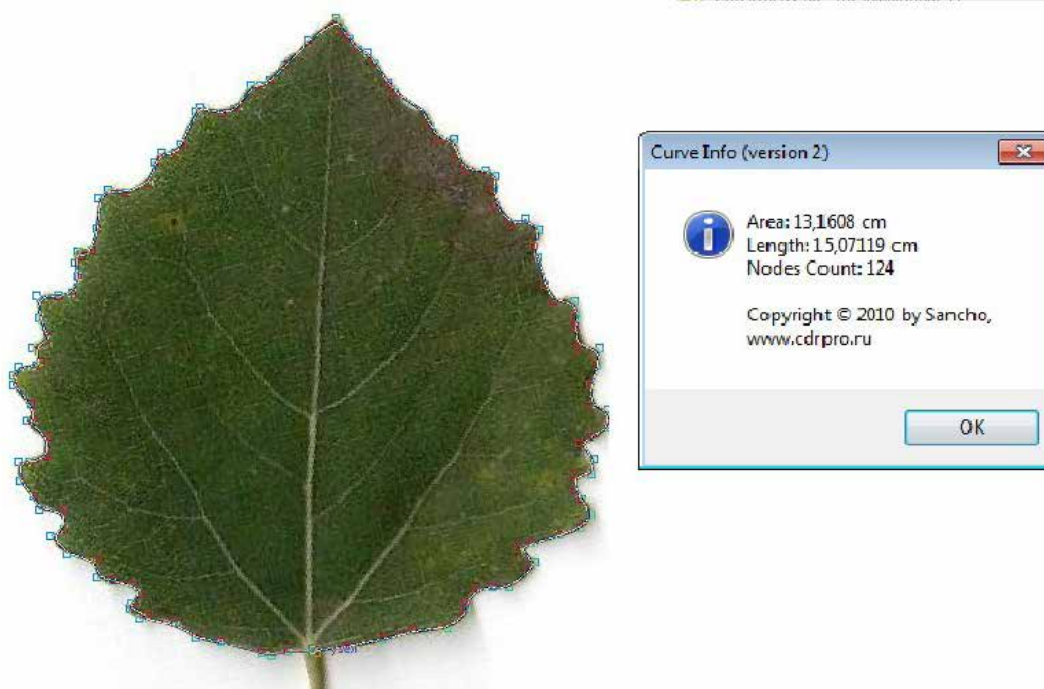


Рис. 1. Використання CoralDRAW X6 для вимірювань морфологічних показників листових пластинок

пів довжини й обчислювали значення K_F як відношення площі верхньої частини до нижньої:

$$K_F = S_t \cdot S_b^{-1},$$

де S_t – площа верхньої частини листкової пластинки, cm^2 ; S_b – площа нижньої частини, cm^2 [2].

Біометричний аналіз даних проведено методами математичної статистики. Достовірність одержаних результатів оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента. Статистичну обробку морфометричних даних проводили з використанням комп'ютерної програми Excel 7.0.

Викладення основного матеріалу. Результати досліджень засвідчують виражену лабільність морфометричних параметрів видів-індикаторів та біоіндикаційну інформативність розрахованих коефіцієнтів (табл. 1).

На території золошлаковідвалів коефіцієнт видовженості для листкових пластинок *P. tremula* становить 0,97, що свідчить про значну трансформованість екотопу. Щодо *S. caprea* та *B. pendula*, то аналізований показник на території золошлаковідвалів та в межах фоновієї екосистеми перевищує одиничний рівень.

Коефіцієнт форми для листків *P. tremula* та *B. pendula* на території золошлаковідвалів перевищує фонові значення на 0,13 та 0,14 відповідно. Це пояснюється тим, що на території золошлаковідвалів трапляються листкові пластинки нетипової форми для даних видів. Зокрема, обернено трикутноеліптична у *P. tremula*, серцевидна та овальна *B. pendula*. Зміна форми листкової пластинки обумовлює вищий показник співвідношення верхньої і нижньої частини листкової пластинки у порівнянні із фоновією територією.

Коефіцієнт форми листків *S. caprea* в умовах фоновієї території та на золошлаковідвалі статистично не відрізняється. Це свідчить про те, що даний

вид суттєво не змінює форму листкової пластинки в умовах стресу.

В умовах золошлаковідвалу спостерігається зменшення площі листкових пластинок (табл. 2). Площа листкових пластинок *P. tremula*, що зростають на золошлаковідвалі менша в середньому на 2,09 cm^2 і становить 15,75 cm^2 . Площа асиміляційної поверхні у *S. caprea* в умовах золошлаковідвалу менша в середньому на 3,4 cm^2 і становить 21,92 cm^2 , а у *B. pendula* на фоновій та території золошлаковідвалів суттєво не відрізняється і становить 14,5 cm^2 та 15,1 cm^2 відповідно.

Листки *P. tremula*, що зростають на золошлаковідвалах, зазнають некротичних уражень, які займають приблизно 18,65 % асиміляційного апарату (2,98 cm^2). На фоновій території площа некрозів становить менше 1 %. Некротичне ураження асиміляційного апарату *B. pendula* становить 14,1 % асиміляційної поверхні (2,05 cm^2) при 1,32 % асиміляційної поверхні в умовах фоновієї території. Площа некрозів *S. caprea* становить 11,17 % листкової поверхні (2,45 cm^2), при фоновому значення – менше 3,47 % (рис. 2).

У рослин, що зростають на території золошлаковідвалу спостерігається некрози по периферії листкових пластинок. Найчастіше тут трапляється некроз типу «риб'ячий скелет» (рис. 3, А), що свідчить про найвищий рівень накопичення фітотоксикантів. Також спостерігаються асиметричні некрози (рис. 2, Б), що переважають на половині листкової пластинки.

Таким чином, зменшення площі листків в умовах золошлаковідвалу найбільш виражено спостерігається у *S. caprea*, а найменше – у *B. pendula*. Найвищі рівні некротизації листкової пластинки на території золошлаковідвалу спостерігаються у *P. tremula*, а найнижчі – у *S. caprea*.

Таблиця 1

Морфометричні коефіцієнти листкових пластинок:
1 – фонові територія; 2 – територія золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС

Показник	Вид					
	<i>Populus tremula</i> L.		<i>Salix caprea</i> L.		<i>Betula pendula</i> Roth.	
	1	2	1	2	1	2
Коефіцієнт видовженості	1,09	0,97	2,06	1,88	1,33	1,25
Коефіцієнт форми	0,65	0,78	1,04	1,15	0,7	0,84

Таблиця 2

Площа листків та площа некротичних уражень листкових пластинок:
1 – фонові територія; 2 – територія золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС

Вид	Площа листка, cm^2		Площа некрозу, cm^2	
	1	2	1	2
<i>Populus tremula</i> L.	17,84 ± 0,50	15,75 ± 0,45	0,1 ± 0,13	2,98 ± 0,02
<i>Salix caprea</i> L.	25,3 ± 0,10	21,92 ± 0,11	0,88 ± 0,02	2,44 ± 0,04
<i>Betula pendula</i> Roth.	15,1 ± 0,59	14,5 ± 0,97	0,2 ± 0,045	2,05 ± 0,14



Рис. 2. Рівень некротизації листкових пластинок дослідних видів (%)

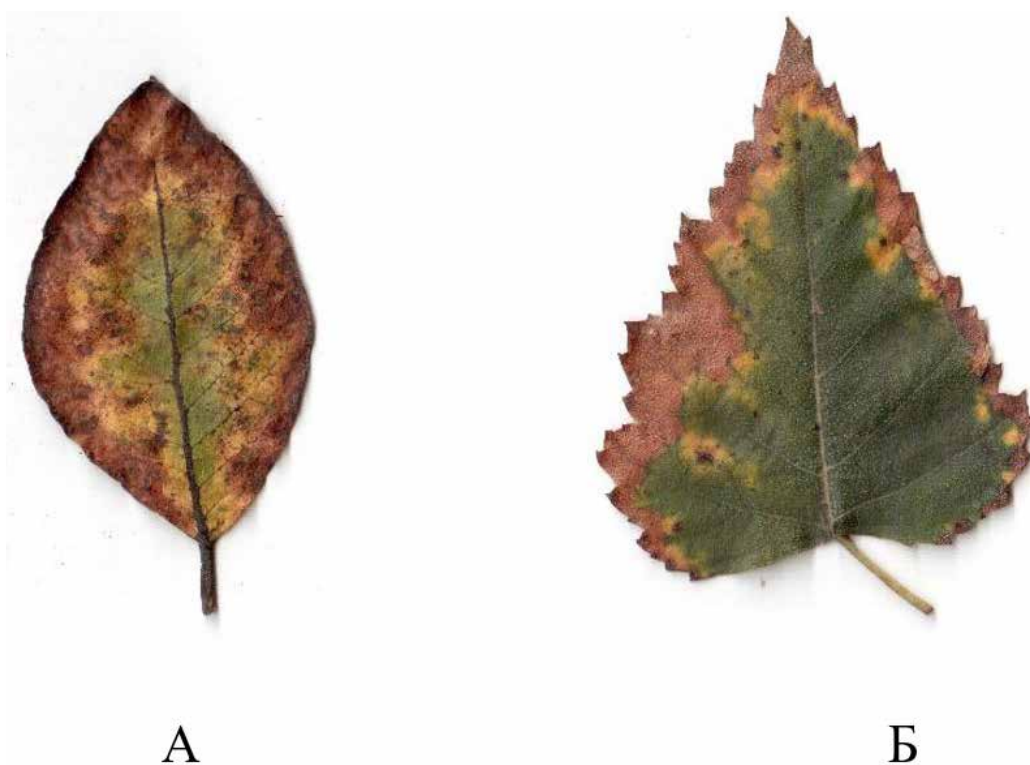


Рис. 3. Некроз листкових пластинок: А – *Salix caprea* L.; Б – *Betula pendula* Roth

Головні висновки. Досліджувані види – *P. tremula*, *S. caprea*, *B. pendula* – проявляють значну реакційність асиміляційного апарату в умовах золошлаковідвалу і можуть використовуватись як індикатори техногенного навантаження. Морфологічна реакційність листкових пластинок видів-індикаторів має видову специфічність.

Морфологічні коефіцієнти для досліджених видів виявляють неоднакову чутливість щодо факторів техногенного навантаження для обраних видів. Коефіцієнт видовженості може бути використаний у якості біоіндикаційного маркера тільки для *P. tremula*. Коефіцієнт форми листкової пластинки *P. tremula* та *B. pendula* відображає високі рівні антро-

попресингу, проте не є індикаторно значимою ознакою для *S. caprea*.

Для усіх видів характерно зменшення площі асиміляційного апарату із одночасним зростанням рівня некротичних уражень.

За морфологічною реакційністю щодо факторів техногенного навантаження дослідні види складають такий ряд: *S. caprea* < *B. pendula* < *P. tremula*. Така ж тенденція щодо некротичних уражень: найбільш

чутливим видом виявилась *P. tremula*, найменш чутливим – *S. caprea*.

Перспективи використання результатів дослідження. Морфологічні характеристики асиміляційного апарату, зокрема площа та рівень його ушкодженості, а також морфологічні коефіцієнти з урахуванням видової чутливості рекомендовані до використання у фітоіндикаційних дослідженнях для оцінки стану навколишнього середовища.

Література

1. Буцяк А.А., Буцяк В.І., Музика Л.І. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки стану атмосферного повітря в зоні діяльності Добротвірської ТЕС. *Науковий вісник Львівського національного у-ту ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*. Львів, 2018. Т. 20, № 89. С. 122–126.
2. Ганжа Д. Морфологічна реакція листків тополі в різних умовах урботехногенного навантаження. *Вісник Львівського у-ту. Серія біологічна*. Львів, 2012. Вип. 60. С. 163–170.
3. Капелюш Н.В. Вплив аерогенного забруднення на показники асиміляційного апарату деревних рослин міста Запоріжжя. *Вісник Запорізького національного університету*. 2012. № 3. С. 111–115.
4. Карпин Н.І., Заика В.К., Соханьчак Р.Р. Морфологічні показники асиміляційного апарату видів роду *Tillia* L. в урбогенних умовах Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.4. С. 35–39.
5. Луцишин О.Г., Радченко В.Г., Палапа Н.В. [та ін.] Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів деревних вуличних насаджень Київського мегаполісу при стресовому рівні техногенного забруднення. *Доповіді Національної академії наук України*. Київ, 2010. № 6. С. 180–187.
6. Парпан В.І., Миленька М.М. Морфологічні особливості *Populus pyramidalis* Roz. в умовах урботехногенного забруднення середовища. *Екологія та ноосферологія*. Дніпропетровськ, 2009. Т. 20, № 3–4. С. 84–90.
7. Приймак О.П., Пугач А.М. Вплив інгредієнтів автотранспортних викидів настан асиміляційного апарату декоративних квітникових рослин. *Вісник Дніпропетровського у-ту. Біологія. Медицина*. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 3, т. 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.15421/021217>
8. Радченко В.Г., Луцишин О.Г., Палапа Н.В. [та ін.]. Функціональний стан гірко каштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу. *Екологія та ноосферологія*. Дніпропетровськ, 2010. Т.21., № 1–2. С. 4–18.
9. Савосько В.М., Домшина К.М., Савосько В.В. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендрозензів степу в умовах промислового міста. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2013. Вип. 18, № 2. С. 121–133.
10. Хвостов О.О., Капелюш Н.В. Вплив аерогенного забруднення на стан деревної рослинності м. Запоріжжя. *Питання біоіндикації та екології*. – Запоріжжя, 2011. Вип. 16, № 1. С. 103–108.
11. Іванченко О.Є., Бессонова В.П. Індикація стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфологічними показниками. *Вісник Дніпропетровського у-ту. Біологія, екологія*. Дніпропетровськ, 2016. 26 (1). С. 109–118.
12. Dimitrova Ivanka, Yurukov Lilyana Bioindication of anthropogenic pollution with *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae): metal accumulation, morphological and stomatal leaf characteristics. *Phytologia Balcanica*. Sofia, 2005. 11 (1). P. 89–96.
13. Krupey K., Obruch K., Mihailichenko A. Phytoindication of the environmental conditions by the degree of leaves damage of *Betula pendula* Roth. *Problems of Bioindications and Ecology*. 2019. 24 (2). P. 66–74. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-06>
14. Неспляк О. С. Екологічні особливості формування флори і рослинності золотокладів Бурштинської теплової електростанції та їх використання в рекультивациі: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2011. 23 с.