

Морфологічні зміни трансплантатів мохів як реакція на забруднення повітря промислового регіону

ОЛЕКСАНДРА ВОЛОДИМИРІВНА МАШТАЛЕР
ДАР'Я ВАЛЕРІЙВНА ЗАДОРОЖНА

MASHTALER O.V., ZADOROZHNA D.V., 2008: **Morphological changes in moss transplantats as a reaction on air pollution in industrial region.** *Chornomors'k. bot. z.*, vol. 4., №2: 237-243.

Typical morphological changes of epiphytic moss transplantats under the impact of environmental pollution in the city of Makeyevka (Donetsk region) are revealed. It is found that the degree of morphological characteristics of *Orthotrichum pumilum* Sw. (= *Orthotrichum fallax* Bruch.) and *Leptodictium riparium* (Hedw.) Warnst. positively correlates with the level of air pollution. These species can serve as the informative indicators of air quality in an industrial region. Relatively highly tolerance of *Leskea polycarpa* Hedw. to intensive air pollution is confirmed. The degree of anthropogenic pressure in three zones of Makeyevka (Donetsk region) is determined.

Key words: mosses, transplantation, air pollution

МАШТАЛЕР О.В., ЗАДОРОЖНА Д.В., 2008: **Морфологічні зміни трансплантатів мохів як реакція на забруднення повітря промислового регіону.** *Чорноморськ. бот. ж.*, т. 4, №2: 237-243.

Виявлено типові морфологічні зміни трансплантатів трьох видів епіфітних мохів під впливом забруднення навколишнього середовища м. Макіївки. Встановлено, що ступінь зміни морфологічних показників видів мохів *Orthotrichum pumilum* Sw. (= *Orthotrichum fallax* Bruch.) та *Leptodictium riparium* (Hedw.) Warnst. знаходяться у залежності від ступеню забруднення атмосферного повітря та може бути інформативним індикатором якості повітря промислового регіону. Підтверджено відносну стійкість виду моху *Leskea polycarpa* Hedw. в умовах інтенсивного атмосферного забруднення. Визначено ступінь антропогенного навантаження у трьох зонах м. Макіївки (Донецька обл.).

Ключові слова: мохи, трансплантація, забруднення атмосферного повітря

В умовах напруженого екологічного стану на території Донецької області все актуальнішою стає проблема індикації ступеня забруднення навколишнього середовища. Серед рослинних об'єктів одними із найефективніших організмів-індикаторів забруднення навколишнього середовища є епіфітні мохоподібні [LE BLANC, DHRUVA, 1973; МАМЧУР, 2004; МАШТАЛЕР, 2005, 2007]. Головними перевагами мохоподібних є: широке географічне розповсюдження; відсутність кутикули; пасивне накопичення хімічних речовин з атмосферних опадів; відсутність кореневої системи (що перешкоджає поглинанню іонів хімічних речовин із субстрату). Розробкою проблеми біоіндикації за допомогою мохоподібних в Україні почали займатися у середині ХХ століття [Бойко, 1999]. На території Донецької області цей напрямок біоіндикації протягом декількох десятиліть розвивають учені-бріологи [КОТОВ, 1987; Бойко, 1999; МАШТАЛЕР, 2005, 2007], але на досліджуваній нами території робота проводиться вперше.

Одним із найбільших промислових центрів Донецької області є м. Макіївка. На його території сконцентрована велика кількість промислових підприємств, які є джерелом викидів в атмосферне повітря токсичних та канцерогенних політантів

[ЗЕМЛЯ..., 2005]. Серед підприємств м. Макіївки найбільшими є такі: ВАТ «Ясиновський коксохімічний завод», ВАТ «Макіївський труболиварний завод», ВАТ «Макіївський коксохімічний завод», підприємство вугледобувної промисловості «Макіїввугілля» та ВАТ «Макіївський металургійний комбінат» (ММК) – найстаріше підприємство України, засноване у 1899 році. Таким чином, бріоіндикація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Макіївки є актуальною на теперішній час.

Метою даної роботи було з'ясування реакцій трансплантатів мохів, які виникають внаслідок забруднення навколишнього середовища промислового регіону шкідливими речовинами, визначення найперспективніших видів-індикаторів серед досліджуваних мохів, а також з'ясування орієнтовного ступеня антропогенного навантаження на навколишнє середовище у досліджуваних зонах м. Макіївки.

Дослідження проводили на території м. Макіївка з липня 2007 р. по червень 2008 р. Об'єктами трансплантації, згідно з вимогами фітоіндикаційних досліджень [Дідух, 1994; Ольхович, 2005], було обрано три види епіфітних мохів, що є достатньо поширеними на території м. Макіївка: бокоплідні мохи *Leskea polycarpa* Hedw. і *Leptodictium riparium* (Hedw. Warnst., та верхоплідний мох *Orthotrichum pumilum* Sw. (= *Ortotrichum fallax* Bruch.) (латинські назви видів подані за М.Ф. БОЙКОМ [2008]).

Під час дослідження використано метод активного біомоніторингу [LE BLANC et al., 1973; МЭННИНГ и др., 1985] – трансплантація дернинок мохів із порівняно чистої зони до зони з підвищеним техногенним навантаженням. Як умовно чисту зону (контроль) було обрано лісопосадку на відстані близько 5,5 км у східному напрямку від Макіївського металургійного комбінату (ММК) – одного з головних джерел забруднення навколишнього середовища м. Макіївки. Про відносну чистоту території свідчить наявність великої кількості накипних лишайників на деревах. Вибір даної лісопосадки як контрольної зони також обумовлено її розташуванням у зоні поза дією переважаючих вітрів з ММК. У контрольній зоні було обрано дерева виду *Acer negundo* L., стовбури яких від поверхні землі до висоти 0,5 – 1,5 м були з півночі рясно вкриті дернинками мохів. Протягом липня 2007 р. було зібрано зовнішній шар кори з розташованими на ньому дернінами мохів, які утворювали найбільші площі обростання. Методику трансплантації [LE BLANC et al., 1973] було модифіковано для використання на південному сході України. Трансплантацію зразків мохів проводили в наступних зонах.

Зона 1. ЦПКіВ ім 50-річчя Жовтня. Відстань від ММК становить 1,3 км у східному напрямку (поза дією переважаючих вітрів). Парк – масив штучних насаджень у комплексі з природною рослинністю, що зазнає великого рекреаційного навантаження під час весняно-літнього періоду.

Зона 2. Територія розташована у санітарно-захисній зоні ММК. Відстань від межі ММК становить 50 м також у східному напрямку.

Зона 3. Зона в західному напрямку від ММК на відстані 2,4 км (зона впливу вітрів з ММК). Являє собою масив штучної та природної рослинності.

Кількість трансплантатів дорівнювала 4 для кожного виду моху, а загальна площа трансплантатів становила близько 160 см² на кожному дереві. Їх фіксацію проводили в кожній обраній зоні на стовбурах дерев виду *A. negundo* на висоті 2 м. Вибір висоти пояснюється тим, що якість приземного шару атмосфери є одним із найважливіших критеріїв стану навколишнього середовища [ЗЕМЛЯ..., 2005].

Через три місяці після трансплантації було зроблено візуальні спостереження за станом трансплантатів мохів (подальші спостереження проводили щомісяця). Паралельно з цим було відібрано зразки кожного виду мохів-трансплантатів (з центральної частини кожного трансплантату та з периферії). У всіх зразків згідно з загальноприйнятою методикою [ПАУШЕВА, 1988] в лабораторних умовах було виміряно

довжину та ширину листової пластинки для 20 гаметофорів кожного виду моху, вивчено стан клітин листка, а також зафіксовано наявність або відсутність спорогонів. Отримані дані було оброблено за допомогою пакету прикладних програм Statistica 6.0, Excel for Windows, рівень вірогідності 0,95% ($P < 0,05$).

Було виявлено морфологічні зміни трансплантатів мохів, що проявилися у зміні забарвлення листових пластинок, а також в їхньому частковому або повному відмиранні. У трансплантатів виду *L. polycarpa* відмирання листків, а також цілих пагонів було помічено в Зоні 2 та в Зоні 3 (рис. 2, А). Найбільше постраждали пагони, що були розташовані на краях дернинок. Деякі вчені [GILBERT, 1968] пояснюють ушкодження крайніх пагонів дернинок тим, що з країв площа контакту гаметофорів із атмосферним повітрям є дещо більшою, ніж усередині. Вважаємо, що ця закономірність також стосується всіх пошкоджених дернинок у всіх досліджуваних зонах. У Зоні 1 зміни були дуже незначними: знебарвились верхівки кількох листових пластинок.

Характерною рисою морфологічних змін трансплантатів виду *L. riparium* було повне знебарвлення верхівок пагонів у Зонах 2 та 3. Причому, найбільш істотно це проявилось в Зоні 2 (помічено велику кількість знебарвлених пагонів). У Зоні 1 ці зміни майже не проявилися.

У трансплантатів виду *O. pumilum* морфологічні зміни проявилися у некрозі кількох пагонів та побурінні верхівок листових пластинок більшості пагонів (Зона 2). У Зоні 3 було помічено некроз окремих пагонів з краю дернинки та знебарвлення окремих листових пластинок. Практично незмінними залишилися трансплантати у Зоні 1. На підставі результатів аналізу морфологічних змін трансплантатів мохів встановлено, що найчутливішим до забруднення атмосферного повітря є вид *L. riparium*, а найменш чутливим – *L. polycarpa*.

Аналізуючи результати вимірів довжини та ширини листових пластинок трансплантатів мохів (Рис. 1), можна сказати, що максимальну довжину та ширину листової пластинки кожного виду моху зареєстровано в Зоні 1, що скоріше за все, пов'язано з розташуванням парку у зоні поза дією вітрів з ММК та відсутністю поблизу промислових об'єктів. Меншими виявились морфометричні показники листових пластинок у Зонах 2 та 3. Достовірної різниці між значеннями у цих зонах виявити не вдалося.

Установлено, що найчутливішим до забруднення атмосферного повітря (результати аналізу морфометричних характеристик) виявився вид *O. pumilum*, оскільки діапазон зміни довжини та ширини листової пластинки у трьох зонах у нього був максимальним, порівняно з іншими видами. На підставі морфометричних показників, найстійкішим до атмосферного забруднення виявився вид *L. polycarpa*.

У ході дослідження листових пластинок мохів-трансплантатів було помічено наявність некротичних процесів різного ступеня. Некрози у рослин (у тому числі й у мохів) свідчать про негативний вплив певного фактору на життєдіяльність клітин та рослинного організму в цілому [РАСТЕНИЯ..., 1983].

Зміни у трансплантатів *L. polycarpa* проявилися найменшою мірою в Зоні 1. Було помічено некроз окремих груп клітин (від одиниць до декількох десятків у межах листової пластинки). У Зоні 2 зміни виявились найбільш значними, оскільки були присутні повністю відмерлі листові пластинки. Їх кількість була значно більшою, ніж кількість частково пошкоджених пластинок. У трансплантатів *L. polycarpa* із Зони 3 (рис. 2, А) відмерлими були частини майже всіх листових пластинок (близько 1/3 – 1/4 пластинки). Повністю відмерлих пластинок не було помічено.

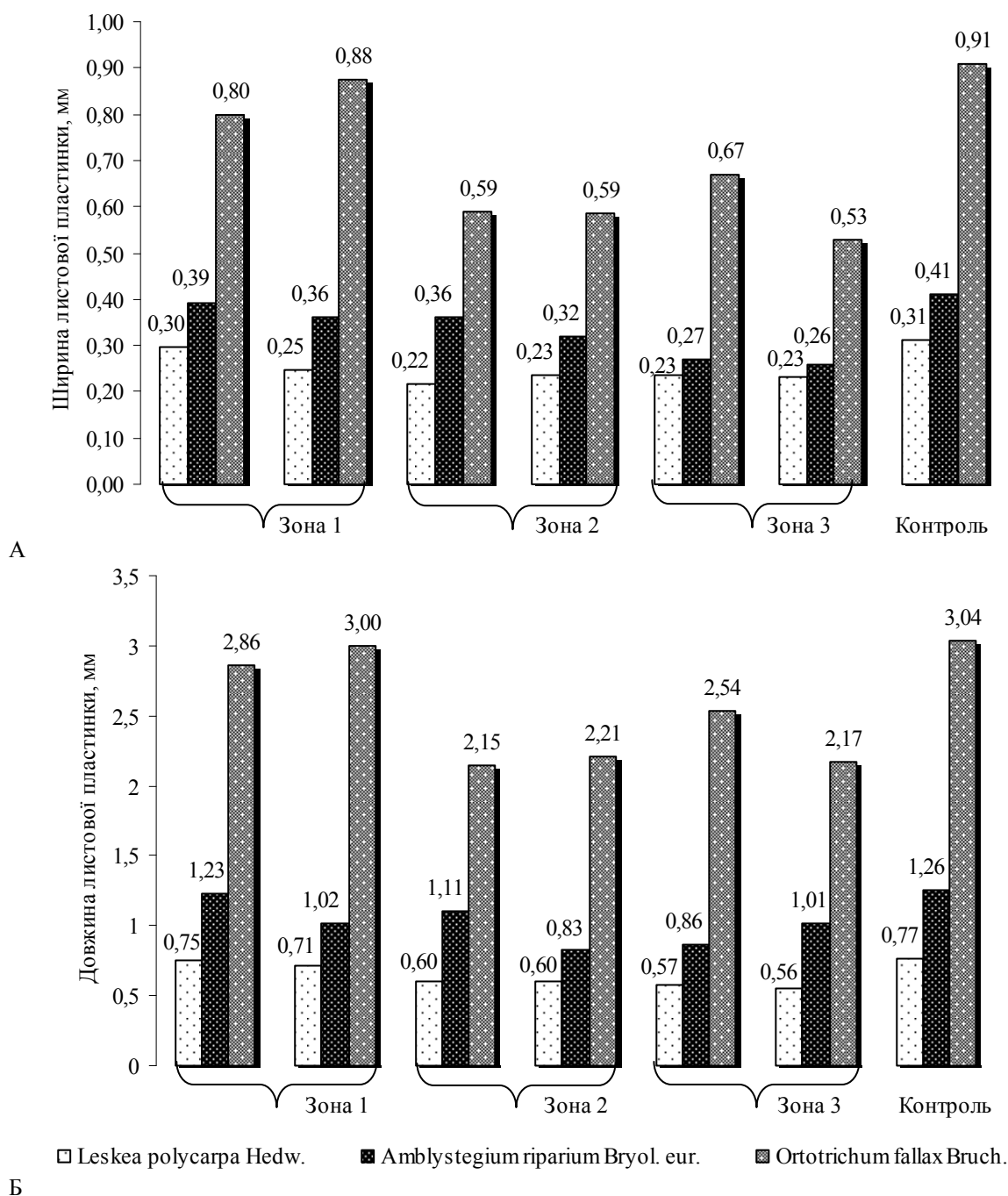


Рис. 1. Зміна ширини (А) та довжини (Б) листових пластинок мохів-трансплантатів

Fig. 1. Variation in width (A) and length (B) of moss transplants' leaf plates

Відмінною рисою змін листових пластинок *L. riparium* в Зоні 1 стало знебарвлення їх верхньої частини. Листковим пластинкам трансплантатів цього моху було притаманне відмирання груп, число клітин у котрих становило кілька десятків, у всіх частинах листа. У Зоні 2 зміни були більш значними (рис. 2, Б). Площі відмирання були сконцентровані у верхній та середній частинах пластинок. Описані явища були характерними для більшості досліджуваних зразків даного моху. Повністю відмерлі листові пластинки ми спостерігали і в Зоні 3, верхівки живих листових пластинок були повністю знебарвленими.

Характерною особливістю змін трансплантатів *O. pumilum* стало побуріння верхівок листових пластинок. Такі зміни на анатомічному рівні зумовлено бурим

забарвленням колєнхіматично потовщених стінок клітин. Листкові пластинки трансплантатів *O. pumilum* у Зоні 1 відрізнялися побурінням лише кількох верхівок. Найбільш істотними виявились анатомічні зміни в Зонах 2 (рис. 2, Б) та 3, де разом із побурінням значної кількості клітин верхівки листкової пластинки відмерлими були також клітини середньої частини листкової пластинки.

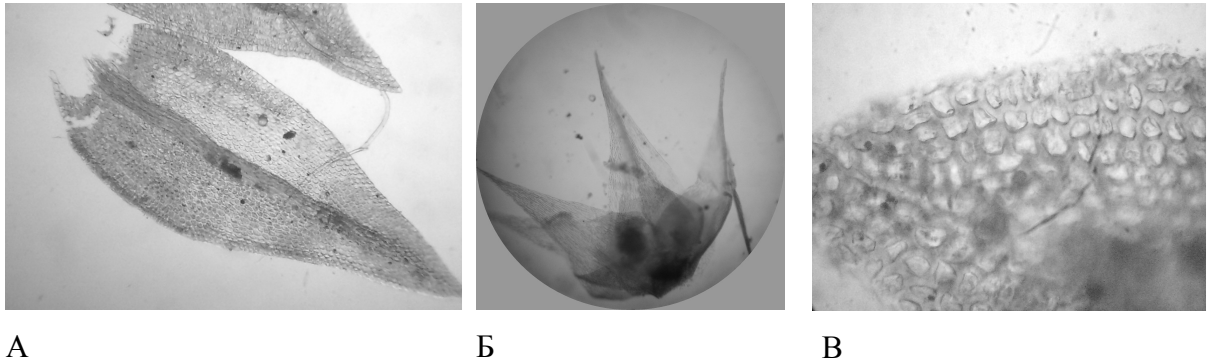


Рис. 2. Анатомічні зміни листкових пластинок трансплантатів мохів: *L. polycarpa* у Зоні 3 (А); *L. riparium* у Зоні 2 (Б); *O. pumilum* у Зоні 2 (Б')

Fig. 2. Anatomical changes in moss transplants' leaf plates: *L. polycarpa* in Zone 3 (A); *L. riparium* in Zone 2 (B); *O. pumilum* in Zone 2 (B')

У всіх зразків трансплантатів мохів нами було зафіксовано наявність або відсутність спорогонів. До трансплантації на дернинках *O. pumilum* спостерігалась дуже велика кількість спорогонів, а на дернинках інших видів їх було значно менше. Після трансплантації наявність спорогонів у великій кількості було зафіксовано лише у *O. pumilum*, а в Зоні 2 вони змінили своє забарвлення на темно-буре. У решти видів спорогони стали поодинокими, або були відсутні. Утворення нових спорогонів помічено не було. Проведення вимірів коробочок *O. pumilum* у кожній із зон трансплантації показало, що максимальною виявилась середня довжина коробочки в Зоні 1 ($1,97 \pm 0,03$ мм), а мінімальною – в Зоні 2 ($1,64 \pm 0,02$ мм). Це пояснюється тим, що в несприятливих умовах дещо уповільнюється розвиток органів генеративного розмноження мохоподібних. Натомість більш інтенсивним стає процес вегетативного розмноження [РиКОВСЬКИЙ, 1987; ДЕМКИВ, 1991]. Такі зміни нами було помічено лише в Зоні 1 у трансплантатів *O. pumilum*. Це підтверджує те, що мохи мають здатність до приживання у ході трансплантації.

Під час мікроскопії спорогонів було помічено, що більша частина коробочок спорогонів *O. pumilum* у Зонах 2 та 3 не містила спор. Слід зауважити, що коробочки цього виду в Зоні 1 характеризувалися наявністю спор у великій кількості. У коробочці *O. pumilum* в Зоні 3 було помічено морфологічну аномалію (Рис. 3). Вона проявилася у проростанні нової коробочки у межах старої. На нашу думку, однією з причин такої аномалії може бути вплив поллютантів на розвиток спорофіту даного виду моху [ДЕМКИВ, 1991].

Протягом дослідження шосту частину трансплантатів було втрачено (особливо взимку). Тому ми на початку експерименту (через 3 місяці) провели повне дослідження трансплантатів мохів, а на його завершальному етапі вважали доцільним дослідити зміни трансплантатів мохів лише візуально. На основі проведених спостережень та отриманих результатів морфологічних змін трансплантатів мохів нами було здійснено оцінювання антропогенного навантаження на навколишнє середовище м. Макіївки. За основу оцінки навантаження було використано шкалу, що було розроблено британським ученим-бріологом O.L. GILBERT [1968].

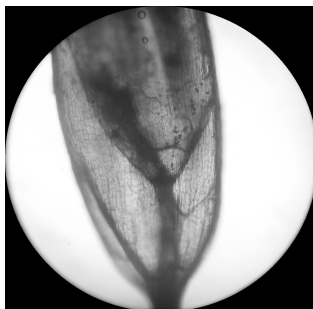


Рис. 3. Морфологічна аномалія коробочки спорогона *O. pumilum* у Зоні 3.

Fig. 3. Morphological anomaly in sporogone capsule of *O. pumilum* in Zone 3.

Дослідником було запропоновано градацію морфологічних змін трансплантатів мохів, виражену в числових значеннях від 5 до 1 балів. У зв'язку зі специфікою досліджуваної нами території та характером морфологічних змін трансплантатів мохів шкалу O.L. Gilbert нами було дещо змінено і вона набула такого вигляду:

«5» – дернинки майже без пошкоджень;

«4» – пошкодження (знебарвлення і побуріння) кількох листових пластинок на верхівках гаметофорів;

«3» – відмирання менше ніж половини гаметофорів дернинки;

«2» – відмирання більше ніж половини гаметофорів дернинки;

«1» – усі гаметофори дернинки пошкоджені або повністю відмерли.

Згідно з отриманою шкалою через три місяці після трансплантації було проведено оцінку стану (у даному випадку зовнішнього вигляду) трансплантатів мохів у всіх зонах. Оцінювали стан кожної дернинки. Далі було розраховано середнє значення у кожній зоні та отримано орієнтовний індекс забруднення атмосферного повітря. Індекс отримано шляхом складання показників стану всіх видів мохів у межах однієї зони. Результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Оцінка стану трансплантатів мохів

Table 1.

Evaluation of moss transplants' state

Вид моху	Середнє значення у зоні			Контроль
	Зона 1	Зона 2	Зона 3	
<i>Leskea polycarpa</i>	4,6	2,9	3,8	5,0
<i>Leptodictyum riparium</i>	4,5	3,0	4,3	5,0
<i>Ortotrichum pumilum</i>	4,0	2,7	4,6	5,0
Індекс забруднення атмосферного повітря	13,1	8,6	12,7	15,0

На базі отриманої п'ятибальної шкали нами складено шкалу розрахованого індексу, яка характеризує екологічні умови досліджуваної території. Під екологічними умовами у даному випадку ми розуміємо ступінь забруднення атмосферного повітря. Кожне зі значень шкали представляє собою бал п'ятибальної шкали, помножений на 3 (кількість індикаторних видів):

- 15 – сприятливі
- 15 – 12 – нормальні
- 12 – 9 – субнормальні
- 9 – 6 – несприятливі
- 6 – 3 – край несприятливі

Порівнявши отримані індекси зі шкалою, можна сказати, що екологічні умови у Зонах 1 та 3 є нормальними, а у Зоні 2 – несприятливими. Сприятливими виявилися

екологічні умови у контрольній зоні. Слід зазначити, що отримані результати, за умови проведення досліджень із застосуванням інших індикаторних організмів, дадуть чіткішу картину стану досліджуваної території, що дозволить отримати комплексну оцінку забруднення атмосферного повітря промислового регіону.

Таким чином, у результаті дослідження встановлено, що найстійкішим в умовах інтенсивного атмосферного забруднення є вид моху *Leskea polycarpa*. Також виділено перспективні для бріоіндикації забруднення атмосферного повітря види мохів: *Leptodictyum riparium* (за найбільш вираженими морфологічними змінами) та *Ortotrichum pumilum* (як вид із максимальними змінами довжини та ширини листкової пластинки залежно від ступеня забруднення атмосферного повітря). Підтверджено пригнічення полютантами генеративної функції мохоподібних. На базі оціночної шкали розраховано приблизний індекс забруднення атмосферного повітря у трьох зонах промислового міста.

Список літератури

- Бойко М.Ф. Анализ бриофлоры степной зоны Европы. – К.: Фитосоцицентр, 1999. – 180 с.
Бойко М.Ф. Чеклист мохоподібних України. – Херсон: Айлант, 2008. – 232 с.
Демкив Л.О. Ответные реакции мхов на загрязнение внешней среды / Л.О. Демкив // Бриология в СССР, ее достижения и перспективы: материалы конференции, посвященной 90-летию со дня рождения А.С. Лазаренко (10-12 сент. 1991 г.). – Львов, 1991. – С. 66 – 69.
Дідух Я.П., Пліота П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
ЗЕМЛЯ ТРИВОГИ НАШОЇ: За матеріалами доповіді про стан навколишнього середовища в Донецькій області у 2004 році / Під ред. С.В. Третьякова. – Донецьк: “ЦЕПИ. ЕПІЦентр ЛТД”, 2005. – 120 с.
КОТОВ В.С. Содержание и распределение ртуты у цератодона пурпурного (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid.) / В.С. Котов, И.И. Коршиков // Интродукция и акклиматизация растений. – 1987. – Вып. 7. – С. 41-43
МАМЧУР З. Поширення епіфітних мохоподібних в умовах урбанізованого середовища // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2004. – Вип. 36. – С. 70-77.
МАШТАЛЕР О.В. Мохоподібні антропогенні комплекси південного сходу України // Межведомств. сб. научн. работ «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона». – Донецк: изд-во Донецк. нац. ун-та, 2005. – Вып. 5. – С. 41-48.
МАШТАЛЕР О.В. Біомоніторинг видами Bryophyta техногенно трансформованого середовища південного сходу України: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 / Дніпропетровський нац. ун-т. – Дніпропетровськ, 2007. – 20с.
МЭННИНГ Уильям Дж., ФЕДЕР Уильям А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений.: Пер. с англ. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.
ОЛЬХОВИЧ О. П. Фітоіндикація та фітомоніторинг / О. П. Ольхович, М.М. Мусієнко – К.: Фітосоціцентр, 2005. – 64 с.
ПАУШЕВА З.В. Практикум по цитологии растений. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
РАСТЕНИЯ в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования / Под ред. М.Я Школьника, Н.В. Алексеевой-Поповой. – Л.: Наука, 1983. – 176 с.
РИКОВСЬКИЙ Г.Ф. Еволюція мохоподібних (Bryophyta) у зв'язку з їх еколого-біологічною специфікою // Укр. ботан. журн. – 1987. – Т. 43, № 3. – С. 90-96.
GILBERT O.L. Bryophytes as indicators of air pollution in Tyne Valley // New Phytology. – 1968. – Vol. 67, №. 1. – P. 15-30.
LE BLANC FABIVS, DHARVA N. RAO. Effects of sulphur dioxide on lichen and moss transplantats // Ecology. – 1973. – Vol. 54, №. 3. – P. 612-617.

Рекомендує до друку
М.Ф. Бойко

Отримано 04.09.2008 р.

Адреса авторів:

Машталер О.В., Задорожна О.В.
Донецький національний університет, біологічний факультет
вул. Щорса, 46
Донецьк, 83055
Україна
e-mail: Mashtaler@dongu.donetsk.ua;
Mashtaler_alex@mail.ru

Author's address:

Mashtaler O.V., Zadorozhna D.V.
Donetsk National University,
Department of Botany and Ecology
Biology faculty
46, Schorsa str.
Donetsk 83055
Ukraine
e-mail: Mashtaler@dongu.donetsk.ua;
Mashtaler_alex@mail.ru