

О. З. Глухов, С. І. Прохорова

ІНДИКАЦІЯ СТАНУ ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА МОРФОЛОГІЧНОЮ МІНЛИВІСТЮ РОСЛИН

індикація, морфологічна мінливість, синантропні рослини, техногенне середовище

На сучасному етапі екологічних досліджень, у зв'язку із постійним підвищенням техногенного забруднення навколишнього середовища, постає важливе та актуальне завдання пошуку індикаторів для оцінювання стану антропогенно зміненого середовища.

Практично будь-який антропогенний вплив на середовище внаслідок тісного взаємозв'язку його компонентів супроводжується цілим ланцюгом змін всіх екологічних факторів, включаючи життєво важливі та незамінні [7]. Нові, створені людиною, техногенні фактори можуть безпосередньо впливати на морфогенез та метаболізм рослин. В сучасному Донбасі, який з екологічної точки зору є регіоном з антропогенно трансформованим середовищем, рослини, які здатні існувати в таких умовах, змінюючи при цьому свої морфологічні характеристики, єдині виступають як об'єкт індикації постійного та інтенсивного техногенного забруднення.

Мета даної роботи – намітити перспективи використання синантропних видів рослин для фітоіндикації техногенного середовища за їх морфологічною мінливістю.

Методи, що зазвичай використовуються для оцінювання екологічної ситуації, ґрунтуються на визначенні концентрацій забруднюючих речовин та порівнянні їх із гранично допустимою концентрацією. Однак цей офіційний підхід має багато недоліків [12]. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці нових підходів. Використання біоіндикаторів для оцінювання техногенного забруднення навколишнього середовища має ряд переваг перед технічними засобами. Біоіндикаційні методи дозволяють надати комплексну оцінку дії всіх факторів із врахуванням їх модифікацій та взаємного впливу, реєструють його за визначений період часу, що виключає можливість пропуску короточасних дій, наприклад, залпових викидів, не потребують дорогого обладнання тощо [14].

В Україні проблема індикації умов техногенно забрудненого середовища, яка вже достатньо давно розвивається за кордоном [27], почала привертати увагу дослідників приблизно з кінця 80-их років ХХ ст. І якщо раніше проводились фрагментарні дослідження стосовно екології видів, індикаційної геоботаніки [5] тощо, то тепер біоіндикація виділяється як самостійний науковий напрямок. Досліджується можливість індикації на рівнях фізіологічних і біохімічних реакцій живих організмів, морфологічних, біоритмологічних та етологічних (для тварин) реакцій, хорологічних (зміни ареалів видів рослин) реакцій, а також на біоценотичному і ландшафтному рівнях [2, 4, 23]. У 90-і роки в Україні активно починає досліджуватись фітоіндикація динаміки екологічних факторів. Найдоступнішим для спостереження і дослідження компонентом біогеоценозів є рослинний покрив [16]. Між компонентами біогеоценозу існує тісний взаємозв'язок, котрий дає змогу за зміною одних елементів судити про зміну інших. Щоб виявити закономірності таких змін, застосовують методи індикації екологічних факторів за видовим складом рослинних угруповань [12].

На сьогодні, у зв'язку із постійним підвищенням у повітрі та ґрунті вмісту важких металів, актуальним стає використання рослин як організмів-моніторів стану техногенного

середовища. Порівняння видів за їх здатністю до нагромадження ряду елементів свідчить, що для пасивного моніторингу аеротехногенного забруднення середовища важкими металами найбільш придатні такі синантропні види, як *Taraxacum officinale* Wigg., *Artemisia vulgaris* L., *Plantago media* L., *Cichorium intybus* L. [1, 10].

Дослідження стосовно інтегрального оцінювання стану навколишнього середовища за показниками стабільності розвитку органів рослин та тварин, а саме за величиною флюктууючої асиметрії, здійснюються лабораторією біоіндикації Калузького державного педагогічного університету ім. К. Е. Ціолковського та представлені у численній кількості праць [13, 18, 28]. Сутність методу полягає у визначенні та аналізі реакцій рослин та дрібних тварин, що постійно проживають на досліджуваній території, у відповідь на антропогенні зміни умов існування. Критерієм оцінювання дії шкідливих факторів середовища є ступінь відхилення білатерально-симетричних живих організмів від показників, що характерні для здорових особин. Результатами даного методу є біоіндикаційні трьохрівневі карти досліджуваних територій.

Розглядаються теоретичні засади, стан та рівні сучасної фітоіндикації [20]. Фітоіндикація застосовується як найбільш придатний метод попереднього аналізу для екологічного моніторингу, що являє собою комплексну систему спостережень, оцінювання та прогнозу стану біосфери, яка знаходиться під впливом природних та антропогенних факторів [14, 19]. Моніторинг популяцій рослин у техногенних екотопах дає можливість ботанічного прогнозування, пізнання внутрішньовидової різноманітності та встановлення механізмів адаптації видів в умовах техногенезу [26].

В якості фітоіндикаторів використовують мохи (бріоіндикація), лишайники (ліхеноіндикація), рослинні угруповання, окремі види судинних рослин, зміни в їх розповсюдженні, рості та розмноженні, тератологічні зміни [8, 10, 17].

На сучасному етапі екологічних досліджень, як зазначає Я. П. Дідух, все частіше індикаторами стану середовища виступають не види рослин (тобто елементи), а їх ознаки, властивості (тобто структури елементів) [12]. Індикаційна ознака – це певні особливості видів або угруповань, що мають індикаційне значення, хоча сам вид або угруповання не є індикаторами [19]. Таке переміщення центру ваги з елементів на їх структуру свідчить про зміну методології в дослідженні рослинних угруповань у напрямку поглибленого вивчення їх організації та взаємозв'язку і залежності із зовнішніми екологічними умовами, воно має велике наукове і практичне значення.

Морфометричний підхід застосовується досить часто в ботанічних дослідженнях, так як він дозволяє здійснювати діагностику життєздатності рослин [15]. Відмічено, що в екстремальних умовах морфологічна мінливість у рослин дещо збільшується або, навпаки, зменшується. Це обумовлено тим, що стійкість популяцій в умовах середовища, що змінюються, може бути досягнута за рахунок як автономності, стабільності, так і пластичності параметрів, що їх характеризують [3, 6, 22]. Однак, кількість робіт, де мінливість морфологічних ознак знаходить застосування у фітоіндикації, дуже обмежена. В. М. Голубев одним із перших висловлює думку, що навіть такі елементарні кількісні характеристики, як висота рослин, довжина і ширина листків тощо, мають велике індикаційне значення [11]. До теперішнього часу ця проблема практично не розробляється і представлена окремими науковими роботами стосовно індикаційного значення кількісних морфологічних ознак деяких рослин [9, 21, 24, 25].

Отже, в сучасних умовах для моніторингу техногенного забруднення на сьогодні одним із найбільш перспективних методів виявляється індикація умов середовища за мінливістю морфологічних ознак синантропних видів рослин. Ця проблема знаходиться в початковій стадії розробки та представлена, на жаль, невеликою кількістю наукових робіт, проте набуває все більшої актуальності.

Для дослідження морфологічної мінливості синантропних рослин в техногенному середовищі обрано 4 модельні види, що проникли на едафотопи техногенних територій як аборигенні (*Senecio jacobaea* L.) або адвентивні (вид північноамериканського походження – *Conyza canadensis* (L.) Cronq. та 2 види євразійського походження – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski) та є на сьогодні одними з найбільш розповсюджених в антропогенно трансформованих екотопах південного сходу України. Для кожного виду було вибрано вибірку із максимально екологічно чистого екотопу, що прийнята за еталон. Обсяг вибірки – 30 особин. Далі кожна вибірка з досліджуваної локації піддавалась порівнянню з еталоном за двома критеріями для кожної ознаки: t-критерієм Стьюдента і F-розподілом за допомогою комп'ютерної статистичної програми Excel. Перший критерій (Стьюдента) показував ймовірність (у відносних одиницях) того, що досліджувана вибірка не відрізняється від контрольної за середнім значенням параметра. Довірчу ймовірність t-розподілу було обрано рівною 0,95 (тобто ймовірність помилки 5 %); обсяг вибірок – неоднаковий; розподіл значень у вибірці – двобічний. Другий критерій (F-розподілу) показував ймовірність (у відносних одиницях) того, що досліджувана вибірка не відрізняється від контрольної за дисперсією або розкидом. Чим ближче значення критеріїв до 1, тим більше схожа досліджувана популяція із стандартною.

В результаті для кожного виду визначено набір індикаторних ознак (таблиця).

Таблиця. Індикаторні морфологічні ознаки модельних видів рослин

| Вид | Індикаторні ознаки |
|--|--|
| <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski | довжина верхньої колоскової луски; довжина нижньої колоскової луски; кількість осей у суцвітті; кількість квіток у колоску. |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | кут відхилення плодоніжки; довжина суцвіття; висота рослини; довжина частини суцвіття, що цвіте, – щиток з квіток і бутонів на верхівці пагона. |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq. | ширина основи кошика; ширина найбільш довгого листка; довжина середнього листка. |
| <i>Senecio jacobaea</i> L. | довжина нижнього листка; довжина середнього листка; довжина язичкової квітки. |

Для кожної ознаки всіх чотирьох видів обчислено середній коефіцієнт варіації [29]. Далі для кожної вибірки обчислено модулі морфологічної мінливості за формулою:

$$Mod_x = CV / CV_{st},$$

де Mod_x – модуль мінливості відповідного параметра одного з видів рослин, CV – коефіцієнт варіації ознаки із досліджуваного екотопу, CV_{st} – коефіцієнт варіації умовного стандарту із еталонного місцезростання.

На основі відносної варіабельності визначених індикаторних ознак нами виділено та зведено у спеціальну діагностико-індикаційну 4-блочну схему (рис. 1) 23 модулі морфологічної мінливості ознак, які можна використовувати як морфологічні маркери для оцінювання стану техногенно трансформованого середовища.

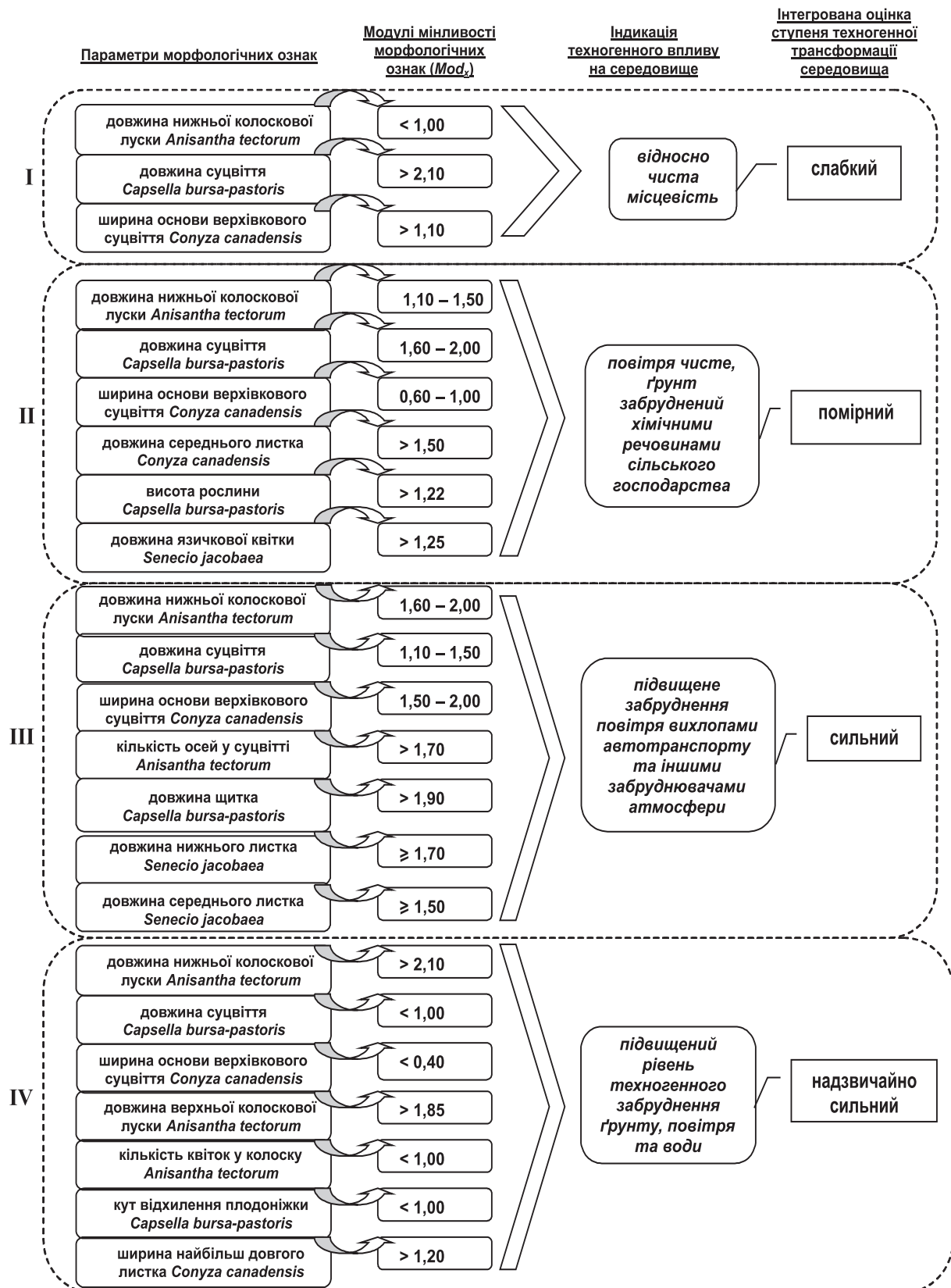


Рис. 1. Схема використання модулів морфологічної мінливості модельних синантропних видів рослин як біомаркерів стану техногенно трансформованого середовища на південному сході України:

I – IV – діагностико-індикаційні блоки; * різниця достовірна при $P < 0,05\%$.

В схемі наведено чотири діагностико-індикаційних блоки, кожний з яких складається із показових параметрів морфологічних ознак модельних синантропних видів та відповідних модулів мінливості цих ознак, при використанні яких в якості біомаркерів можлива індикація техногенного впливу на середовище та визначення ступеня його техногенної трансформації. Наприклад, якщо відносний коефіцієнт варіації довжини суцвіття *Capsella bursa-pastoris* має значення більше 2,10, то це вказує на відносно чисту місцевість та слабкий ступінь техногенної трансформації, а якщо менше 1,00 – на підвищене техногенне забруднення та надзвичайно сильний ступінь техногенної трансформації.

Для того, щоб здійснювати тривалий локальний моніторинг стану техногенного середовища, модельні види можна збирати у великій кількості місцезростань протягом тривалого часу та за допомогою розробленої схеми одночасно за всіма модулями морфологічної мінливості чотирьох видів слідкувати за станом тієї чи іншої місцевості. Якщо ж необхідно швидко визначити тип забруднення середовища в якійсь окремій ділянці, необхідно обрати один найбільш зручний об'єкт для дослідження та за його модулями морфологічної мінливості, згідно схемі, оцінити стан середовища.

Результати даного дослідження дозволяють якісно оцінити ступінь техногенної трансформації середовища без використання складних дорогих пристроїв, здійснювати біомоніторинг стану навколишнього середовища, що є дуже актуальним для техногенно трансформованих територій, які підлягають постійному та сильному антропогенному пресингу. Крім того, індикація за морфологічною мінливістю синантропних видів рослин є надійною, показовою та дешевою внаслідок максимальної простоти методик та обладнання, що використовується.

Для прикладу практичного використання розробленої схеми нами побудовано за модулями мінливості морфологічних ознак *Anisantha tectorum* у техногенних екотопах, як найбільш показових та перспективних, екологічні схем-карти м. Донецька та Донецької області методом полігонального групування точок.

Для цього використали 4 модулі довжини нижньої колоскової луски *A. tectorum* ($Mod_{\text{нкл}}$), кожному присвоєний умовний бал та рівень забруднення середовища. Так, значення $Mod_{\text{нкл}}$ менше 1 вказує на низький рівень забруднення середовища та має умовний бал забруднення – I; від 1,1 до 1,5 – середній (II); від 1,6 до 2,0 – сильний (III); більше 2,0 – дуже сильний рівень забруднення середовища (IV). Кожний рівень забруднення середовища на схем-карті відмічається відповідно заштрихованими (зафарбованими) маркерованими точками, сукупності яких складають топологічно пов'язані зони забруднення.

Маркеровані точки – це експериментальні ділянки відбору рослинного матеріалу дуже малого (у порівнянні із територією, що картується) розміру, в кожній з яких виміряно значення певного показника та віднесено до конкретного рівня забруднення середовища. Топологічно пов'язана зона забруднення – це ділянка поверхні схем-карти, що не має розривів та об'єднує маркеровані точки одного типу. Схем-карта може мати декілька таких зон. Схем-карта складається шляхом з'єднання всіх вузлових точок відрізками прямих ліній.

За нашими даними, що наочно наведено на фітоекологічних схем-картах (рис. 2, 3), в м. Донецьку найбільш забрудненими є центральні райони міста (Ленінський, Ворошиловський, Калінінський та частина Будьонівського), де розташовано основний завод-забруднювач – Донецький металургійний завод, а також його шлакові відвали та коксохімічний цех. Київський, частина Петровського та Будьонівського районів

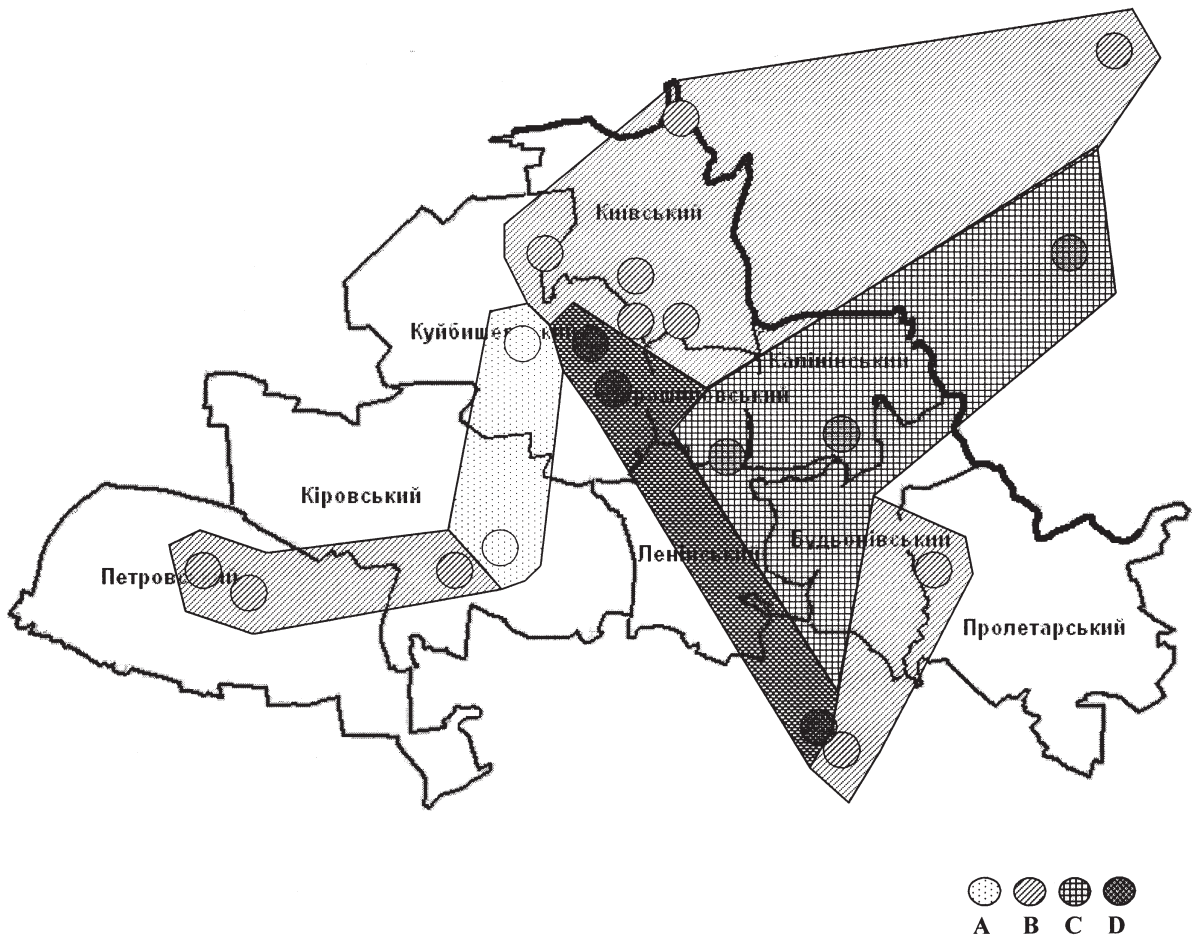


Рис. 2. Екологічна схем-карта м. Донецька, складена за модулями мінливості морфологічних ознак *Anisantha tectorum* (L.) Nevski (фрагмент):
 А – низький рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ менше 1,0); В – середній рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ від 1,1 до 1,5); С – сильний рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ від 1,6 до 2,0); D – дуже сильний рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ більше 2,1); різниця достовірна при $P < 0,05\%$.

забруднені менше, на їх території в основному розміщуються заводи, що зараз не працюють, та території вугільних шахт. Наймеш забрудненою є територія Кіровського та частково Куйбишевського районів, де розміщуються тільки відвали вугільних шахт. На території Донецької області найбільш забрудненими виявились райони: Старобешівський, Волноваський, Ясинуватський, частково Мар'їнський та Костянтинівський, в яких загальний рівень антропопресії є одним з найбільших для області. Отже, наведений приклад показує можливість візуалізації індикації стану техногенного середовища окремих територій за еколого-ботанічним підходом, зокрема з використанням модулів морфологічної мінливості рослин в техногенних екотопах.

Таким чином, результати роботи свідчать про доцільність використання морфологічної мінливості синантропних видів рослин як діагностико-індикаційних біомаркерів техногенно трансформованого середовища.

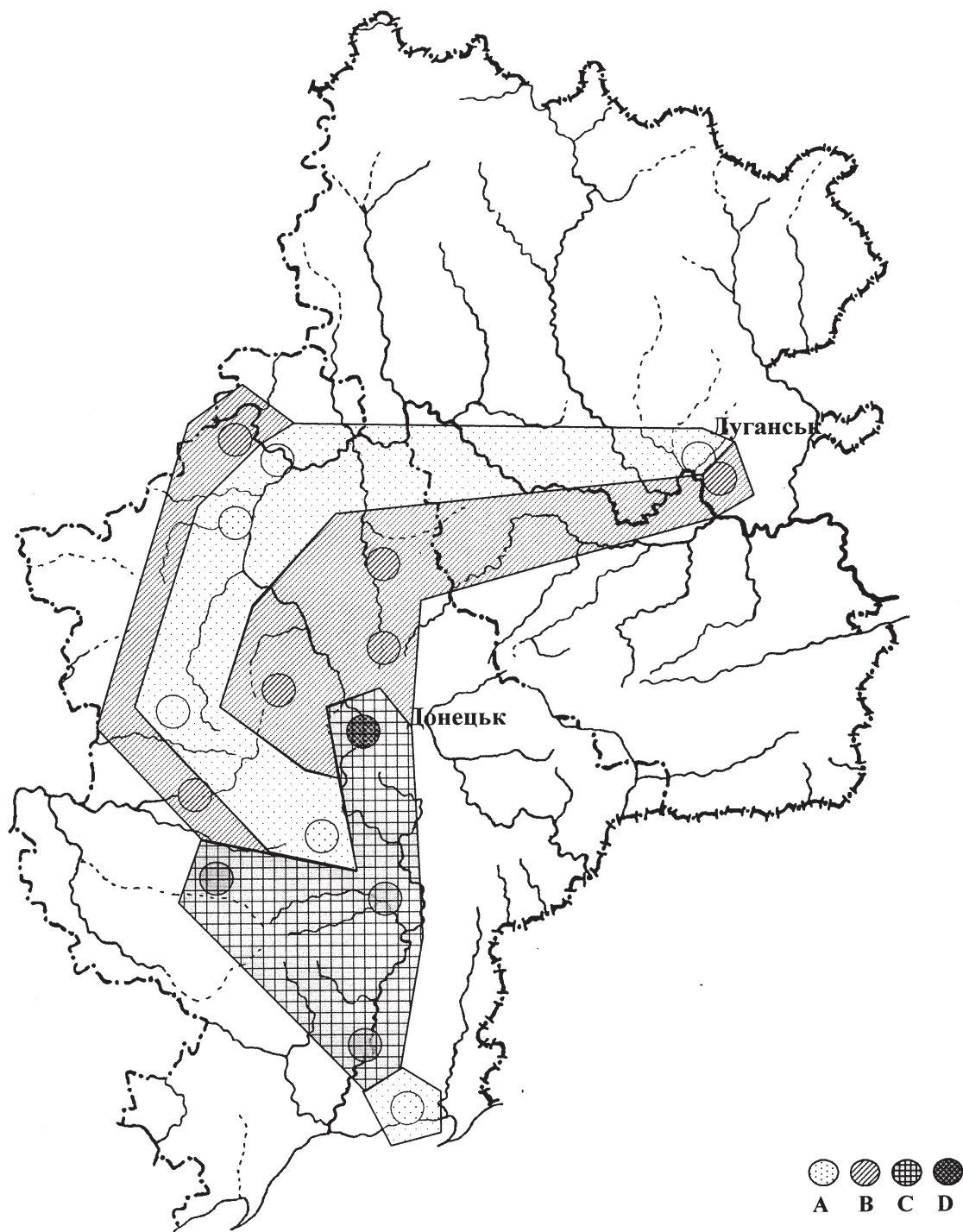


Рис. 3. Екологічна схем-карта Донецької області, складена за модулями мінливості морфологічних ознак *Anisantha tectorum* (L.) Nevski (фрагмент):
 А – низький рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ менше 1,0); В – середній рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ від 1,1 до 1,5); С – сильний рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ від 1,6 до 2,0); D – дуже сильний рівень забруднення середовища ($Mod_{нкл}$ більше 2,1); різниця достовірна при $P < 0,05\%$.

1. Бессонова В. П. Индикация загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами по их накоплению в растениях // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: Б. в., 1999. – Вип. 4. – С. 11 – 21.
2. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
3. Бурда Р. І., Остапко В. М., Тохтар В. К. Мінливість синантропних популяцій рослин. – Донецьк: Б. в., 1997. – 91 с.
4. Ветров В. А., Чугай В. В. Беспозвоночные как индикаторы загрязнения фоновых пресноводных экосистем тяжелыми металлами // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том II. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 61 – 75.
5. Викторов С. В., Ремезова Г. Л. Индикационная геоботаника. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 168 с.
6. Виноградова Ю. К. Внутривидовая изменчивость коста кровельного в естественных и спонтанных интродукционных популяциях // Бюл. Гл. ботан. сада. – 1999. – С. 37 – 45.
7. Глухов А. З., Хархота А. И. Растения в антропогенно трансформированной среде // Промышленная ботаника. – 2001. – Вып. 1. – С. 5 – 10.
8. Глухов О. З., Маиталер О. В. Біоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України. – Донецьк: Вебер, 2007. – 156 с.
9. Глухов А. З., Прохорова С. И. Мониторинг аэротехногенного загрязнения среды по показателям относительной изменчивости морфологических признаков синантропных видов растений в Донбассе // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. II заочной междунар. науч.-практ. конф.: В 2 т. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – Т. 2. – С. 230 – 235.
10. Глухов О. З., Сафонов А. І., Хижняк Н. А. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі. – Донецьк: Норд-Пресс, 2006. – 360 с.
11. Голубев В. Н. Морфологические признаки растений как индикаторы условий среды // Теоретические вопросы фитоиндикации. – М.: Наука, 1971. – С. 137 – 142.
12. Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
13. Захаров В. М., Кларк Д. М. Биотест: интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов. – М.: Биотест, 1993. – 68 с.
14. Зверева Е. Л., Козлов М. В. Биоиндикационная оценка уровней загрязнения воздуха в условиях промышленного города // Экологические основы оптимизации урбанизированной и рекреационной среды. Часть I. – Тольятти: Б. и. – 1992. – С. 150 – 152.
15. Злобин Ю. А. Морфометрический подход в ценопопуляционных исследованиях // Тез. докл. VII делегат. съезда Всесоюз. ботан. об-ва. – Л.: Наука. – 1983. – С. 141 – 142.
16. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наук. думка, 1978. – 246 с.
17. Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наук. думка, 1996. – 238 с.
18. Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Захаров В. М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения // Экология. – 1996. – № 6. – С. 441 – 444.
19. Мэннинг Дж. У., Федер У. А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 18 – 51.
20. Ольхович О. П., Мусієнко М. М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 64 с.
21. Прохорова С. І. Деякі морфологічні ознаки синантропних видів рослин як біомаркери стану техногенного середовища на південному сході України // Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнар. конф. молодих учених-ботаніків (Київ, 17 – 20 верес. 2007 р.). – К.: Фітосоціоцентр, 2007. – С. 169.
22. Ростова Н. С. Структура и изменчивость корреляций морфологических признаков цветковых растений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05 / Санкт-Петербургский гос. ун-т. – СПб., 2000. – 40 с.
23. Таран М. А. Рослини та гриби як моніторинг техногенних екосистем // Укр. ботан. журн. – 1988. – 45, № 1. – С. 82 – 88.
24. Тохтарь В. К. Использование количественных морфологических признаков для выявления межпопуляционных различий у *Conyza canadensis* (L.) Cronq. // Промышленная ботаника. – 2001. – Вып. 1. – С. 126 – 129.
25. Тохтарь В. К. Исследование количественных признаков популяций видов *Oenothera* L. // Промышленная ботаника. – 2002. – Вып. 2. – С. 46 – 49.
26. Хархота Г. І. Моніторинг популяцій рослин у техногенних екотопах // Охорона генофонду рослин в Україні: Тези доп. наук. конф. (Кривий Ріг, трав. 1994 р.). – Донецьк, 1994. – С. 101 – 102.
27. Хоу Се-Юй. Понятие о растительных индикаторах // Докл. зарубежных ученых: Делегат. съезд Всесоюз. ботан. об-ва. – Л., 1958. – С. 49 – 55.

28. Шестакова Г. А., Стрельцов А. Б., Константинов Е. Л. Методика сбора и обработки материала для оценки качества среды (по березе повислой – *Betula pendula* Roth.). – Калуга: Б.и., 2000. – 32 с.
29. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.

Донецький ботанічний сад НАН України

Надійшла 15.07.2008

УДК 581.52:581.4:581.15

ІНДИКАЦІЯ СТАНУ ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА МОРФОЛОГІЧНОЮ МІНЛИВІСТЮ РОСЛИН

О. З. Глухов, С. І. Прохорова

Донецький ботанічний сад НАН України

Розглянуто проблему індикації техногенного середовища з використанням морфологічної мінливості 4 модельних синантропних видів рослин (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Senecio jacobaea* L.). Виділено 23 модулі їх морфологічної мінливості, які можна використовувати як біомаркери стану техногенного середовища. За цими модулями складено діагностико-індикаційну схему їх використання та фітоекологічні схем-карти забруднення м. Донецька та Донецької області.

UDC 581.52:581.4:581.15

INDICATION OF THE TECHNOGENOUS ENVIRONMENT STATE USING PLANT MORPHOLOGIC VARIATION

O. Z. Hlukhov, S. I. Prokhorova

Donetsk Botanical Gardens, Nat.Acad.Sci. of Ukraine

The problem of indication of the technogenous environment state is considered using morphologic variation in 4 model synanthropic species (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Senecio jacobaea* L.). There are determined 23 modules of their morphologic variation, which can be used as biomarkers of the technogenous environment state. Basing on these modules, a diagnostic-indication scheme of their use and phytoecological scheme-maps of the pollution in the city of Donetsk and the Donetsk region have been made.