

УДК 581.9:581.526.53:502

ТИПІЗАЦІЯ МІСЦЕЗРОСТАНЬ ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНИХ ВИДІВ РОСЛИН (НА ПРИКЛАДІ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ МІСТА ЛЬВОВА)

В. М. Скробала, Р. М. Данилик, І. М. Данилик

Типізація місцезростань прибережно-водних видів рослин (на прикладі зеленої зони міста Львова). — В. М. Скробала¹, Р. М. Данилик¹, І. М. Данилик² — На основі математичного моделювання методами добування даних виділено вісім типів місцезростань прибережно-водних видів рослин в умовах зеленої зони м. Львова. Наведено екологічну характеристику місцезростань, здійснено їх порівняльний аналіз. Встановлено, що провідна роль у формуванні рослинного покриву прибережно-водних екотопів належить едафічним факторам: кислотності ґрунту, вмісту азоту та засоленню.

Ключові слова: Прибережно-водні види рослин, екологічні параметри, багатомірна ординація, математичне моделювання.

Адреса: ¹ Український державний лісотехнічний університет, вул. Кобилянської, 1, Львів, 79000, Україна; ² Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, 79026, Україна, електронна пошта: idanylyk@lviv.farlep.net.

Typification of shore-water plant species habitats (on the example of L'viv city green zone). — V. M. Skrobala¹, R. N. Danylyk¹, I. N. Danylyk² — Eight types of shore-water plant species habitats have been separated on the basis of mathematical modeling by the data getting methods under the conditions of L'viv city green zone. An ecological description of habitats and their comparative analysis were done. It was determined, that leading role in forming of shore-water ecotypes belongs to the edaphical factors: soil acidity, content of nitrogen and salting.

Key words: shore-water plant species, ecological parameters, multidimensional ordination, mathematical modeling.

Address: ¹ Ukrainian State University of Forestry and Wood Technology, 1, O.Kobylianskoi Str., L'viv, 79000, Ukraine; ² Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 4, Kozelnytska Str., L'viv, 79026, Ukraine; e-mail: idanylyk@lviv.farlep.net.

Вступ

Традиційні методи градієнтного аналізу та побудови екологічних рядів дають змогу виділити один або декілька провідних екологічних факторів тільки у випадку їх істотного домінування [1]. Складна система взаємозв'язків між екологічними чинниками часто призводить до констатації наявності кореляції між окремими параметрами при фактичній її відсутності, або навпаки, про що свідчить порівняльна оцінка часткових і повних коефіцієнтів кореляції [6]. У зв'язку з цим традиційні методи статистики виявилися непридатними для математичного моделювання геоботанічних процесів [3]. Вище викладене повною мірою стосується прибережно-водної рослинності, формування якої відбувається в умовах багатостороннього за формою та інтенсивністю антропогенного навантаження: гідротехнічного будівництва, забруднення нафтопродуктами, засолення, рекреації, механічних пошкоджень тощо [4]. Ідея наших досліджень полягала у використанні нових технологій аналізу інформації [5, 9] для типізації місцезростань прибережно-водних видів рослин і загальної оцінки закономірностей їхнього формування.

Об'єкти і методи досліджень

Типізацію місцезростань і вивчення екологічних закономірностей поширення прибережно-водних рослин в умовах зеленої зони м. Львова проводили з використанням методів добування даних [5]. геоботанічної Інформаційну основу становлять відомості про екологічні умови місцезростань 112-ти видів¹ за сімома параметрами: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – режим зволоженості, R – кислотність, N – вміст азоту, S – засоленість ґрунту [11]. Зведення показників екологічних параметрів до спільного масштабу здійснювали в рамках процедури стандартизації [7].

Дослідження включали три основні етапи: вивчення структури взаємного розташування видів у багатомірному просторі екологічних параметрів, математичне моделювання методом багатомірної ординації та перевірку математичної моделі

¹ Назви видів наведені за „Определителем высших растений Украины” [10].

[9]. Кожний вид можна представити у вигляді точки в багатовимірному просторі ознак, координати якої відповідають значенням параметрів екологічних режимів [2, 7, 9]. У цьому випадку подібність видів за сукупністю екологічних параметрів можна визначити на основі відстаней між точками. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні екологічних груп видів, що представляють різні типи місцезростань, встановленні кількості груп, оцінці відмінностей між ними та внеску кожного екологічного параметра у варіювання на основі багатовимірного масштабування [2, 5-9]. Порівняльну оцінку місцезростань здійснювали методами одновимірного та багатовимірного статистичних аналізів, пошуку логічних закономірностей на основі алгоритму CART і канонічного дискримінантного аналізу [5, 7, 9]. Перевірку математичної моделі виконували шляхом порівняльної оцінки положення видів на осях варіювання (багатовимірної ординації) із результатами геоботанічних досліджень і даними літературних джерел [1, 4].

Результати досліджень

Місцезростання прибережно-водної рослинності в умовах зеленої зони м. Львова характеризуються великою різноманітністю. Про це свідчить, зокрема, широкий діапазон варіювання значень екологічних параметрів видів, які формують угруповання: режим зволоженості – 7-10 балів, кислотність ґрунту – 2-9 балів, вміст азоту – 2-9 балів, континентальність – 1-7 балів за шкалами Г. Елленберга та ін. [11]. Складність типізації місцезростань прибережно-водної рослинності полягає у тому, що види характеризуються багатьма параметрами, а окремі з них мають широкий діапазон толерантності.

Якщо зобразити види у вигляді точок у багатовимірному просторі ознак, то на основі розрахунків відстаней між ними можна виділити вісім екологічних груп видів (типів місцезростань), екологічна характеристика яких наведена в таблиці.

Таблиця. Екологічна характеристика місцезростань прибережно-водних видів рослин зеленої зони міста Львова

Тип місце зростання	Стандартизовані значення екологічних параметрів*						
	L	T	K	F	R	N	S
I	0,67	0,69	0,29	-1,05	-0,08	0,20	-0,41
II	0,16	-0,56	-0,46	-0,66	-2,43	-1,40	-0,04
III	-0,18	0,31	-0,67	0,66	0,11	-0,36	-0,26
IV	0,96	0,07	0,49	0,63	0,70	1,19	-0,19
V	-0,29	-1,39	-0,24	-0,25	0,44	0,13	-0,14
VI	-1,69	0,40	-0,74	-1,32	0,22	0,08	-0,02
VII	-0,62	0,20	1,57	0,46	0,00	-0,07	-0,31
VIII	1,01	1,22	0,36	0,60	0,76	0,75	2,83

* Екологічні параметри відповідають згідно з наведеними у праці Г.Елленберга та ін. [11].

I тип місцезростань характеризується сирувато-лісолучним режимом зволоження, евнеморальним термічним режимом, субсвітловим режимом освітленості та відсутністю істотного засолення. Типовими представниками рослинного покриву є *Agrostis stolonifera*, *Bidens frondosa*, *Calystegia sepium*, *Carex bohemica*, *C. vulpina*, *Cyperus fuscus*, *Elatine alsinastrum*, *Eleocharis ovata*, *Epilobium tetragonum*, *Mentha arvensis*, *Polygonum hydropiper*, *Rorippa austriaca*, *R. palustris*, *Rumex conglomeratus*.

II тип місцезростань представлений ділянками із бідними на азот і кислими ґрунтами. Типові представники рослинного покриву: *Carex nigra*, *C. rostrata*, *Elatine gyosperma*, *Epilobium obscurum*, *E. palustre*, *Gnaphalium uliginosum*, *Juncus bufonius*, *J. conglomeratus*, *J. effusus*, *Ranunculus flammula*, *Scirpus sylvaticus*. Ці види трапляються на лісових болотах, заболочених луках, берегах водойм з торф'янистими відкладами, вільшняках. Вони розвиваються в умовах відносно меншого зволоження ґрунту, не витримують тривалого підтоплення. Проте, в умовах осушувальної меліорації угруповання вказаних видів швидко деградує. Не витримують вони також інтенсивної евтрофікації водойм [4].

III тип місцезростань відрізняється мокро-, болотно-лісолучним до водно-болотного режимом зволоженості ґрунту й середніми значеннями інших екологічних параметрів. Типові представники рослинного покриву: *Caltha palustris*, *Cardamine amara*, *C. dentata*, *Carex acutiformis*, *C. elata*, *C. paniculata*, *C. pseudocyperus*, *C. riparia*, *Eleocharis acicularis*, *E. palustris*, *Glyceria fluitans*, *Iris pseudacorus*, *Juncus articulatus*, *Limosella aquatica*, *Meyanthes trifoliata*, *Nasturtium officinale*, *Naumburgia thyrsiflora*, *Ranunculus lingua*, *Rumex hydrolapathum*, *Sagittaria sagittifolia*, *Schoenoplectus lacustris*, *Senecio paludosus*, *Siella erecta*, *Sium latifolium*, *Sparganium emersum*, *Veronica anagallis-aquatica*, *V. beccabunga*. Більшість видів рослин мають широкий діапазон толерантності, трапляються як у природних, так і в антропогенно змінених місцезростаннях. *Naumburgia thyrsiflora* служить індикатором підняття рівня води на сфагнових і трав'яних болотах із постійним ґрунтовим підтопленням [4, 11].

IV тип місцезростань характеризується багатими на азот ґрунтами та відносно високим ступенем зволоження ґрунту. Типові представники рослинного покриву: *Acorus calamus*, *Alopecurus aequalis*, *Bidens cernua*, *B. tripartita*, *Catabrosa aquatica*, *Epilobium roseum*, *Glyceria maxima*, *G. plicata*, *Leersia oryzoides*, *Rorippa prostrata*, *Senecio arcticus*, *Typha latifolia*. Важливою ознакою цього типу місцезростань є те, що він відображає підвищення впливу антропогенного навантаження.

V тип місцезростань відрізняється відносно інших типів прохолоднішими умовами (бореонеморальний термічний режим), слабокислою та нейт-

ральною реакцією ґрунту. Типові представники рослинного покриву: *Alisma plantago-aquatica*, *Carex vesicaria*, *Epilobium hirsutum*, *E. parviflorum*, *Equisetum fluviatile*, *Eupatorium cannabinum*, *Galium palustre*, *G. rivale*, *Hypericum tetrapterum*, *Juncus compressus*, *J. inflexus*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *M. longifolia*, *M. verticillata*, *Myosoton aquaticum*, *Phalaroides arundinacea*, *Phragmites australis*, *Poa palustris*, *Solanum dulcamara*.

VI тип місцезростань формується в умовах часткового затінення та сировато-лісолучного режиму зволоження ґрунту. Типові представники рослинного покриву: *Aethusa cynapium*, *Carex hirta*, *Carex otrubae*, *Lysimachia vulgaris*, *Poa trivialis*, *Rorippa sylvestris*, *Thelypteris palustris*.

VII тип місцезростань характеризується вищою континентальністю кліматичних умов. Типові представники *Butomus umbellatus*, *Calla palustris*, *Carex acuta*, *Cicuta virosa*, *Equisetum palustre*, *Lycopus europaeus*, *Myosotis palustris*, *Oenanthe aquatica*, *Rorippa amphibia*, *Rumex aquaticus*, *Scrophularia umbrosa*, *Sparganium erectum*, *S. minimum*. На нашу думку, цей тип місцезростань відзначається частими перепадами показників режиму зволоження. Так, *Cicuta virosa* і *Rorippa amphibia* часто трапляються в умовах постійного коливання рівня води – на мілководді або заболочуваних ділянках.

VIII тип місцезростань формується в умовах надмірного засолення ґрунту. Для нього також характерні найвищі показники термічного режиму й освітленості. Типові представники рослинного покриву: *Alopecurus geniculatus*, *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis uniglumis*, *Ranunculus sceleratus*, *Rumex maritimus*, *Schoenoplectus tabernaemontani*, *Typha angustifolia*, *T. laxmanii*. Слід зазначити, що види роду *Typha* в умовах зеленої зони м. Львова відзначаються високою стійкістю до антропогенного впливу та широкою амплітудою толерантності до екологічних умов. Вони трапляються в озерах, ставках, болотах, руслах рік, меліоративних каналах, часто виступають піонерами заростання на алювіальних відкладах, мілководді, ямах і канавах. *Schoenoplectus tabernaemontani* є індикатором мезо-, евтрофних, слабо- і середньосолонуватоводних малопротічних водойм із коливанням рівня води, мулистопіщаними донними відкладами, ділянок із постійним ґрунтовим і поверхневим підтопленням [4].

Пошук логічних закономірностей у системі координат екологічних параметрів дозволив також додатково встановити такі діагностичні ознаки для типізації місцезростань прибережно-водних видів рослин:

II – $T \leq 5,3$; $R \leq 4,5$;

V – $T \leq 5,3$; $R > 4,5$;

VI – $T > 5,3$; $F \leq 8,5$; $L \leq 6,5$;

I – $T > 5,3$; $F \leq 8,5$; $L > 6,5$;

III – $T > 5,3$; $F > 8,5$; $K \leq 4,5$; $N \leq 7,5$;

VII – $T > 5,3$; $F > 8,5$; $K > 4,5$; $L \leq 7,5$;

VIII – $S > 1,5$,

де числова нумерація типів місцезростань і позначення екологічних параметрів відповідають таблиці.

Одновимірний статистичний аналіз, хоча він і дає багато для розуміння екологічних закономірностей формування типів місцезростань прибережно-водної рослинності, слід розглядати як попередній, проміжний результат [2, 7]. Доцільність використання методів добування даних для розв'язання даної проблеми пояснюється складністю біогеоценозу як об'єкта математичного моделювання і відсутністю розвиненої методології математичного моделювання складних біологічних систем [5, 9]. Так, шляхом пошуку логічних закономірностей не вдалося чітко окреслити межі **II**, **IV**, **VII**, **VIII** типів місцезростань. Причина полягає у континуальному характері рослинного покриву, широкому діапазоні толерантності багатьох видів, а відтак їхньої участі у формуванні рослинного покриву.

Ідея наших досліджень полягала в математичному моделюванні багатовимірної ординації прибережно-водних видів у системі координат екологічних параметрів із врахуванням наявної інформації щодо приналежності видів до певного типу місцезростань (екологічної групи). Для цього нами обчислені оптимальні комбінації екологічних параметрів, за допомогою яких можна визначити межі типів місцезростань. Результати математичного моделювання на основі стандартизованих значень екологічних параметрів є такими:

$$\text{Root}_1 = -0,322 * L - 0,156 * T - 0,401 * K - 0,522 * F - 1,364 * R - 0,351 * N - 0,598 * S;$$

$$\text{Root}_2 = -0,374 * L - 1,032 * T + 0,292 * K + 0,185 * F + 1,023 * R - 0,137 * N - 1,095 * S;$$

$$\text{Root}_3 = -0,594 * L + 0,817 * T - 0,718 * K + 0,586 * F + 0,416 * R - 0,558 * N - 0,249 * S;$$

$$\lambda_1 = 3,916; \lambda_2 = 2,558; \lambda_3 = 1,058,$$

де Root_i – канонічні відмітки видів; L, T, K, F, R, N, S – стандартизовані значення екологічних параметрів; λ_i – власні значення векторів.

Із аналізу характеристик власних чисел λ_i випливає, що вже три канонічні функції забезпечують 75,3% загальної дисперсії, тому для багатьох цілей аналізу достатньо використовувати тільки тривимірну проекцію вихідної матриці даних (семивимірного простору). Результати математичного моделювання представлені на рисунку.

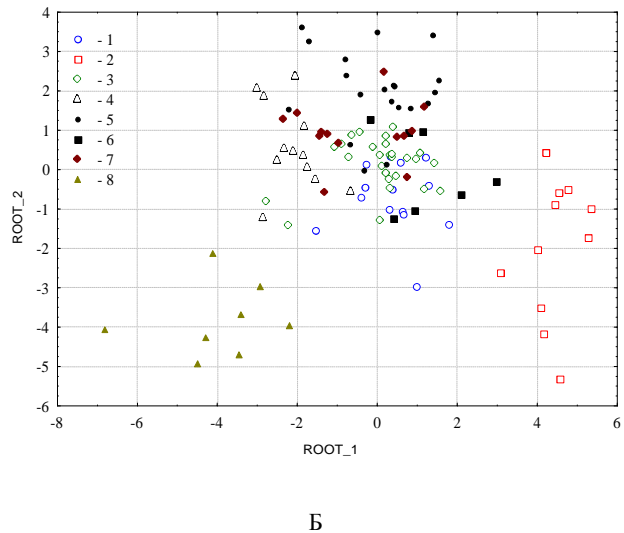
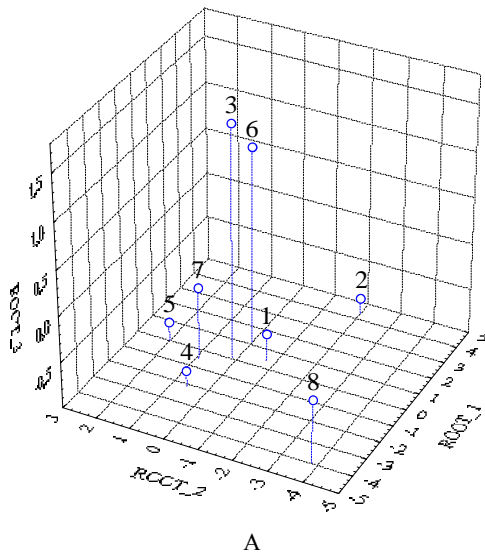


Рис. Результати типізації місцезростань прибережно-водних видів рослин:

А) тривимірна ординація місцезростань прибережно-водних видів рослин;

Б) двовимірна ординація прибережно-водних видів рослин у системі координат канонічних значень.

Примітка: числова нумерація типів місцезростань відповідає таблиці.

У багатовимірному просторі екологічних ознак найбільша відстань спостерігається між **II** і **VIII** типами місцезростань. Мінімальними значеннями першої канонічної функції ($Root_1$) характеризуються види *Schoenoplectus tabernaemontani*, *Eleocharis uniglumis*, *Rumex maritimus*, *Bolboschoenus maritimus*, а максимальними – *Elatine gyrosperma*, *Epilobium palustre*, *E. obscurum*, *Juncus bufonius*, *J. effusus*, *J. conglomeratus*, *Scirpus sylvaticus*. Значення першої канонічної функції залежать передусім від чинника кислотності ґрунту, а також від вмісту азоту й засолення. Таким чином, ординація видів у першому канонічному напрямку може слугувати показником антропогенного навантаження. В умовах зеленої зони м. Львова, розташованої у лісовій зоні, екологічними еквівалентами зростаючого антропогенного впливу є збільшення вмісту азоту, засолення, зменшення кислотності ґрунту.

Другу канонічну функцію задають параметри термічного режиму, кислотності й засолення ґрунту. Відповідно, найбільш антропогенно змінені місцезростання прибережно-водної рослинності розташовані у третій координатній чверті двовимірної системи координат (рис., б). Максимальні значення другої канонічної функції властиві для видів **V** типу місцезростань – *Mentha longifolia*, *Equisetum fluviatile*, *Carex vesicaria*, *Poa palustris*, *Epilobium parviflorum*. Отже, показником антропогенного навантаження може слугувати також пряма, яка проходить через першу і третю координатні чверті.

Третій канонічний напрям визначається складною комбінацією екологічних факторів, серед яких провідну роль відіграють мікрокліматичні умови та освітленість. Максимальними значеннями тре-

тої канонічної функції характеризуються види **III** і **VI** типів місцезростань – *Naumburgia thyrsiflora*, *Eleocharis acicularis*, *Cardamine dentata*, *Carex riparia*, *C. otrubae*, *Rorippa sylvestris*, *Limosella aquatica*.

Кореляція між екологічними параметрами видів і місцезростань загалом виступає істотною проблемою геоботанічних досліджень. Тому для пояснення особливостей поширення видів прибережно-водної флори між усіма типами місцезростань ми визначали відстань Махаланобіса – багатовимірний аналог відстані Евкліда із врахуванням кореляції між екологічними параметрами [7]. У результаті обчислень нами встановлено, що види **I** і **III** типів місцезростань, імовірно, формують флористичне ядро прибережно-водної рослинності в умовах зеленої зони м. Львова. Ці типи місцезростань характеризуються найменшими значеннями відстаней Махаланобіса щодо інших типів. Максимально віддаленими від центру в гіперпросторі екологічних параметрів є місцезростання **II** і **VIII** типів. На основі відстані від **VIII** типу місцезростань можна побудувати екологічний ряд, який слугуватиме відображенням антропогенного навантаження: **II** → **V**, **VI** → **VII**, **III** → **I**, **IV** → **VIII**.

Таким чином, флористичне ядро прибережно-водної рослинності в умовах зеленої зони м. Львова формують види, здатні витримувати помірне та середнє антропогенне навантаження. Види **IV** типу місцезростань, які ростуть в умовах підвищеного вмісту азоту, характеризують істотні зміни біогеоценотичного покриву в напрямку ще більшої його антропогенної трансформації.

Висновки

Велика різноманітність місцезростань прибережно-водних видів рослин в умовах зеленої зони м. Львова визначається складною комбінацією екологічних чинників. Відображенням зростаючого антропогенного впливу виступає надмірне посилення одного або декількох факторів. Показниками

антропогенного навантаження можуть слугувати збільшення рН ґрунту, вмісту азоту, засолення та зміни температурного режиму. Флористичне ядро прибережно-водної рослинності формують види із широким діапазоном толерантності, здатні витримувати помірне та середнє антропогенне навантаження.

1. *Биоиндикация* загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир. –1988. – 348 с.
2. *Дейвисон М.* Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.
3. *Дідух Я. П., Плюта П. Г.* Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
4. *Дубына Д. В., Гейны С., Гроудова З.* и др. / Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. – К.: Наук. думка, 1993. – 434 с.
5. *Дюк В., Самойленко А.* Data Mining: учебный курс. – СПб: Питер, 2001. – 368 с.
6. *Зайцев Г.Н.* Математика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
7. *Енюков И. С.* Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 232 с.
8. *Лиена И. Я.* Математические методы в биологических исследованиях. Факторный и компонентный анализы. – Рига: Латв. госуд. ун-т, 1980. – 104 с.
9. *Миркин Б. Г.* Анализ качественных признаков и структур. – М.: Статистика, 1980. – 349 с.
10. *Определитель* высших растений Украины / Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н., и др. – Киев: Наук. думка, 1987. – 548 с.
11. *Ellenberg H., Weber H. E., Dyll R., et al.* Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa // Scripta Geobot. – 1992. – Vol. 18. – 258 S.

Отримано: 15 січня 2005 р.

Прийнято до друку: 25 травня 2006 р.