

УДК 582.521.43(477.83)

ТИПОЛОГІЯ ВОДНОЇ РОСЛИННОСТІ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ: КЛАС *LEMNETEA R. TX. 1955*

Р. М. ДАНИЛИК, В. М. СКРОБАЛА

*Національний лісотехнічний університет України, кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології,
вул. ім. О. Кобилянської, 1, м. Львів, 79005,
e-mail: druslana@ukr.net*

*Наведено типізацію місцезростань водної рослинності класу *Lemnetea R. Tx. 1955* Українського Розточчя. Вона має важливе практичне значення для індикації несприятливих процесів, прогнозування динаміки рослинності, поліпшення екологічного стану водойм, інтродукції видів, охорони та раціонального використання рослинних ресурсів тощо. Типізацію місцезростань виконували методами добування даних на основі фітоіндикаційної оцінки екологічних режимів біотопів за сімома параметрами: *L* – освітленість, *T* – термічний режим, *K* – континентальність, *F* – режим зволоженості, *R* – кислотність, *N* – вміст азоту, *S* – вміст солей, бали. Дослідження охоплювали три основні етапи: вивчення структури взаємного розташування фітоценозів у багатовимірному просторі екологічних параметрів, математичне моделювання структури та перевірку математичної моделі. Результати аналізу залежності екологічних параметрів місцезростань вказують на наявність тісного зв'язку між окремими змінними. Наприклад, для параметрів термічний режим – континентальність коефіцієнт кореляції $r = 0,79$; сольовий режим пов'язаний із температурою ($r = -0,76$) і континентальністю ($r = -0,69$), вміст азоту – з континентальністю ($r = 0,68$) і водним режимом ($r = -0,62$). Таким чином, для багатовимірної ординації водної рослинності Українського Розточчя класу *Lemnetea* характерна наявність упорядкованої структури, що дає підстави для математичної процедури зменшення вимірності простору та побудови типологічної схеми. Встановлено, що для екотопів рослинності цього класу характерний вузький діапазон варіювання значень екологічних параметрів. Фітоценози класу відрізняються низьким рівнем структурної організації та бідним видовим складом. Типологічну схему водної рослинності класу *Lemnetea* спрощено можна представити у формі трикутника, на вершинах якого розташовані асоціації *Lemnetum minoris*, *Lemnetum trisulcae* і *Spirodelo-Salvinietum natantis*. Паритетні фітоценози *Riccioarpetum natantis* і *Ricciatum fluitantis* розміщені на периферію екологічного простору вільноплаваючої рослинності.*

*Ключові слова: Українське Розточчя, багатовимірні типологія, математичне моделювання, *Lemnetea*.*

Вступ. Завдяки багатовимірній типології фітоценологічну інформацію можна трактувати в категоріях напряму та відстані у багатовимірному просторі ознак, вирішуючи питання динаміки водної рослинності, взаємозв'язків з іншими типами рослинності та екологічного прогнозування. Так, напрям проходження антропогенних сукцесій водної рослинності часто пов'язаний із зменшенням рівня ґрунтових вод і формуванням інших типів рослинності. Математичне моделювання дає змогу визначити положення на типологічній схемі різних синтаксонів.

Клас *Lemnetea R. Tx. 1955* об'єднує угруповання вільноплаваючих на поверхні та в товщі води невикорінених рослин (Дубина, 2006; Соломаха, 2008; Chytrý, 2011; Rodwell, 1995). Асоціації класу вирізняються низьким рівнем структурної організації та бідним видовим

складом. У разі маловидових угруповань майже неможливо виконати типізацію місцезростань. Для екотопів рослинності класу *Lemnetea* характерний вузький діапазон варіювання значень екологічних параметрів.

Розв'язання цієї проблеми має важливе практичне значення для індикації несприятливих процесів, прогнозування динаміки рослинності, поліпшення екологічного стану водойм, інтродукції видів, охорони та раціонального використання рослинних ресурсів (Биоіндикация..., 1988; Дідух та Плюта, 1994; Дубына и др., 1993).

Об'єкти та методи досліджень. Типізацію місцезростань водної рослинності Українського Розточчя класу *Lemnetea* виконували методами добування даних (Дейвисон, 1988; Дюк та Самойленко, 2001, Енюков, 1986; Миркин, 1980) на основі фітоіндикаційної оцінки екологічних

режимів біотопів за сімома параметрами: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – режим зволоженості, R – кислотність, N – вміст азоту, S – вміст солей, бали (Ellenberg, 1979). Крім власних описів, використовували також дані літературних джерел (Сорока, 2008; Ткачик, 1998). Назви синтаксонів подані згідно з синтаксономічною схемою рослинності Українського Розточчя (Сорока, 2008).

Дослідження включали три основні етапи: вивчення структури взаємного розташування фітоценозів у багатовимірному просторі екологічних параметрів, математичне моделювання структури та перевірку математичної моделі (Дюк та Самойленко, 2001). Кожне рослинне угруповання можна уявити у вигляді точки у багатовимірному просторі ознак, координати якої відповідають значенням параметрів екологічних режимів (Дейвисон, 1988; Дюк та Самойленко, 2001, Енюков, 1986; Миркин, 1980; Шитиков и др., 2003). У цьому разі подібність фітоценозів за сукупністю екологічних параметрів визначають на основі відстаней між точками. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні екологічного простору асоціацій, оцінці відмінностей між ними (Дейвисон, 1988; Дюк та Самойленко, 2001, Енюков, 1986; Миркин, 1980). Порівняльну оцінку місцезростань здійснювали методами одновимірного статистичного аналізу, пошуку логічних закономірностей на основі алгоритму CART і канонічного дискримінантного аналізу (Дюк та Самойленко, 2001, Енюков, 1986; Миркин, 1980). Перевірку математичної моделі виконували на основі порівняльної оцінки положення фітоценозів на осях варіювання (багатовимірної ординації) із результатами геоботанічних досліджень та даними літературних джерел (Дубына и др., 1993; Дубына, 2006; Соломаха, 2008; Сорока, 2008; Ткачик, 1998).

Результати та їх обговорення. Угруповання водної рослинності формуються в умовах більш однорідного за фізико-хімічними властивостями середовища, ніж фітоценози суходільних місцезростань (Дубына и др., 1993). Для екотопів рослинності класу *Lemnetea* характерний вузький діапазон варіювання значень екологічних параметрів (табл.) за шкалами Г. Елленберга (Ellenberg, 1979). У цьому разі практично неможливо визначити провідні екологічні чинники для типізації місцезростань.

Результати аналізу залежності екологічних параметрів місцезростань вказують на наявність

тісного зв'язку між окремими змінними (рис. 1). Так, для параметрів термічний режим – континентальність коефіцієнт кореляції $r = 0,79$; сольовий режим пов'язаний із температурою ($r = -0,76$) і континентальністю ($r = -0,69$), вміст азоту – із континентальністю ($r = 0,68$) і водним режимом ($r = -0,62$). Тобто, для багатовимірної ординації водної рослинності Українського Розточчя класу *Lemnetea* характерна наявність впорядкованої структури, що дає підстави для математичної процедури зменшення вимірності простору та побудови типологічної схеми.

Пошук логічних закономірностей у системі координат екологічних параметрів дозволив встановити такі діагностичні правила для типізації місцезростань водної рослинності класу *Lemnetea*:

Lemnetum minoris: $T \leq 5,45$ (найменші значення параметрів термічного режиму);

Spirodeletum polyrhizae: $T = 5,45 \dots 6,00$; $F \leq 10,91$;

Lemnetum trisulcae: $T = 5,45 \dots 6,00$; $F > 10,91$;

Spirodelo-Salvinietum natantis var. *Spirodelo polyrhiza*: $T > 6,00$; $R \leq 6,86$;

Spirodelo-Salvinietum natantis var. *Lemna minor*: $T > 6,00$; $R > 6,86$.

Одновимірний статистичний аналіз хоча і багато дає для розуміння екологічних закономірностей формування екотопів водної рослинності класу *Lemnetea*, проте його слід розглядати як попередній варіант досліджень (Дюк та Самойленко, 2001, Енюков, 1986; Миркин, 1980). Так, на основі пошуку логічних закономірностей встановлено, що велику роль у типізації місцезростань відіграє термічний режим, який залежить від глибини водойм, характеру поширення рослин у товщі води (водний режим) і кислотності субстрату. Водночас, не вдалося чітко окреслити межі типів місцезростань асоціацій *Riccio carpetum natantis* і *Riccietum fluitantis*.

Ідея наших досліджень полягала в математичному моделюванні багатовимірної ординації водної рослинності класу *Lemnetea* в системі координат екологічних параметрів, враховуючи наявну інформацію про належність фітоценозів (асоціацій) до певного типу місцезростань.

Для цього нами обчислені оптимальні комбінації екологічних параметрів, за допомогою яких можна визначити межі типів місцезростань.

Таблиця
Екологічні параметри місцезростань водної
рослинності класу Lemnetaea

Table
The ecological parameters in habitats of aquatic
vegetation from class Lemnetaea

Синтаксон	Екологічні параметри місцезростань, бали						
	L	T	K	F	R	N	S
1. Lemnetum minoris	7.06	5.34	3.41	10.90	6.75	6.01	0.83
2. Spirodeletum polyrhizae	7.14	5.72	4.04	10.69	6.67	6.19	0.69
3. Lemnetum trisulcae	7.11	5.84	3.49	11.34	6.92	5.75	0.80
4. Ricciocarpetum natantis	7.11	5.97	3.69	11.24	6.79	5.68	0.64
5. Riccietum fluitantis	7.00	5.54	3.63	11.19	6.67	5.89	0.80
6. Spirodelo-Salvinietum natantis var. Lemna minor	7.00	6.40	4.18	10.89	6.92	6.49	0.44
7. Spirodelo-Salvinietum natantis var. Spirodela polyrhiza	6.96	6.59	4.58	11.03	6.69	6.32	0.47

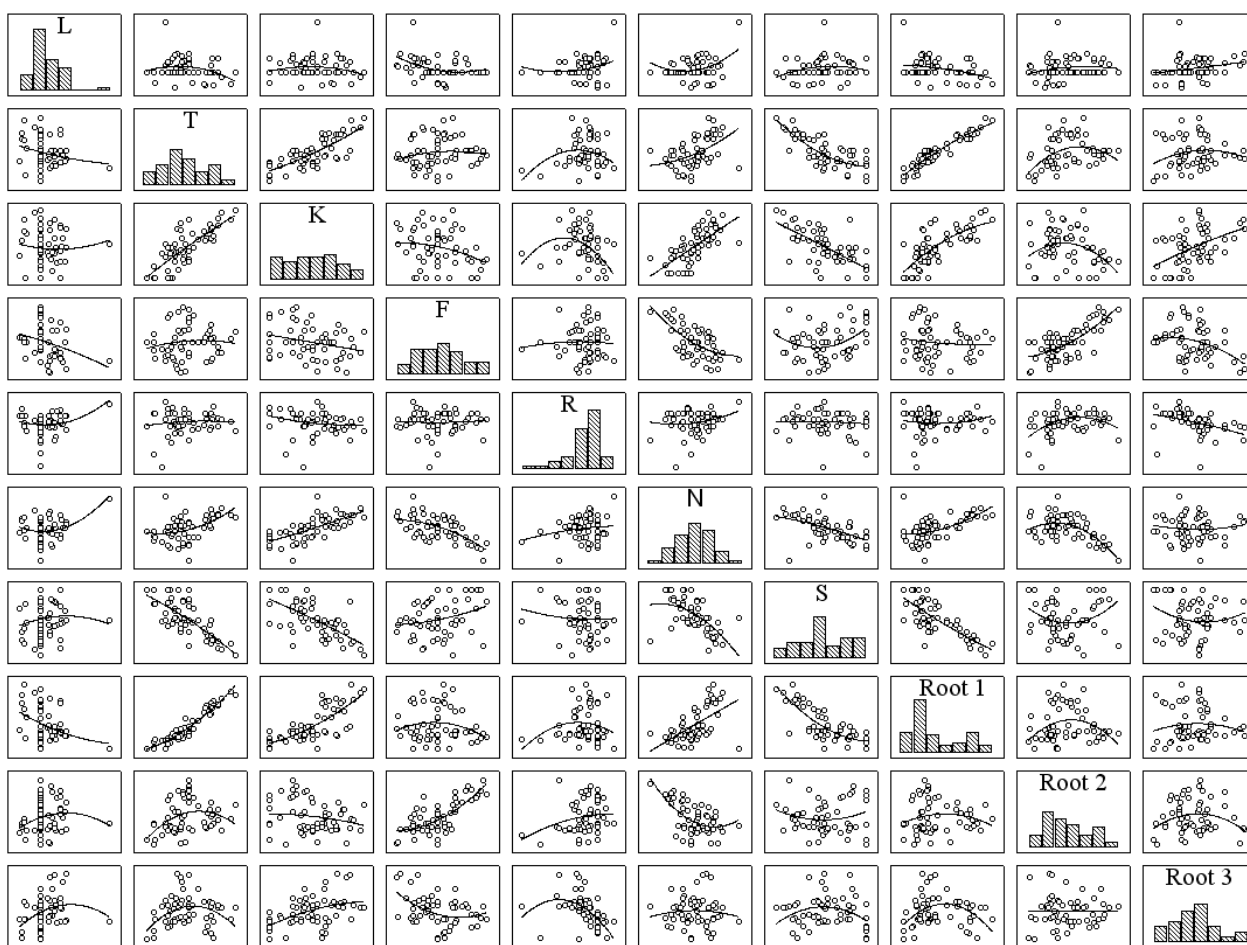


Рис. 1. Залежність між екологічними параметрами
місцезростань водної рослинності класу Lemnetaea та
комплексними градієнтами середовища

Умовні позначення: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – режим зволоженості, R – кислотність, N – вміст азоту, S – вміст солей, бали; Root_i – комплексні градієнти середовища, осі типологічної схеми.

Fig. 1. The relationship between ecological parameters
in habitats of aquatic vegetation from class Lemnetaea
and complex gradients of environment

Legend: L – light, T – thermal mode, K – continental, F – moisture mode, R – acidity, N – nitrogen, S – salt content, balls; Root_i – complex gradients environment axis typological scheme.

Результати математичного моделювання можна подати такими формулами:

$$\text{Root}_1 = -3.24 \times L + 5.23 \times T - 1.69 \times K - 1.45 \times F - 1.01 \times R + 1.58 \times N + 0.33 \times S + 11.37;$$

$$\text{Root}_2 = 5.79 \times L + 2.52 \times T - 0.26 \times K + 1.41 \times F + 1.15 \times R - 3.08 \times N + 0.21 \times S - 59.51;$$

$$\text{Root}_3 = 2.32 \times L - 1.01 \times T + 4.28 \times K - 2.81 \times F + 1.62 \times R - 4.76 \times N + 1.04 \times S + 21.22.$$

де Root_i – канонічні помітки рослинних угруповань, осі типологічної схеми; L, T, K, F, R, N, S – значення екологічних параметрів місцезростань (освітленість, термічний режим, континентальність, режим зволоженості, кислотність, вміст азоту, солей).

Дві канонічні функції забезпечують 85,7 %, а три канонічні функції – 95,6 % загальної дисперсії, тому для багатьох цілей аналізу достатньо використовувати тільки двовимірну проекцію початкової матриці даних (семивимірного простору). Результати математичного моделювання подані на рисунках 1, 2.

Значення першої канонічної функції залежать, передусім, від температурного режиму (коефіцієнт кореляції $r = 0,95$), континентальності ($r = 0,75$), вмісту азоту ($r = 0,58$) та вмісту солей ($r = -0,78$). Відображення цієї осі типологічної схеми є еколого-фітоценотичний ряд: *Lemnetum minoris* → *Spirodeletum polyrhizae* → *Spirodelo-Salvinietum natantis* (рис. 2).

Ординація фітоценозів на першому канонічному напрямі може слугувати показником збільшення антропогенного навантаження. Проте тут спостерігається досить незвичне поєднання високого вмісту азоту із низьким вмістом солей, яке сприяє формуванню асоціації *Spirodelo-Salvinietum natantis*. Добування сапропелю та чищення дна водойм призводять до зникнення характерного виду асоціації – *Salvinia natans* (Соломаха, 2008).

Другий канонічний напрям задають фактори обводнення ($r = 0,73$) та вмісту азоту ($r = -0,53$). Збільшення значень функції відображає такий еколого-фітоценотичний ряд: *Lemnetum minoris* → *Spirodeletum polyrhizae* → *Lemnetum trisulcae*. Цей ряд відображає зменшення антропогенного навантаження, про що свідчить розташування на типологічній схемі рідкісних асоціацій *Riccio carpetum natantis* і *Riccietum fluitantis*. У зв'язку з невеликою кількістю видів у складі рослинних угруповань не вдається чітко визначити екологічний простір малопоширеної асоціації *Riccietum fluitantis*. Імовірно, вона перебуває у проміжному становищі між фітоценозами *Lemnetum minoris* і *Lemnetum trisulcae* з зміщенням на периферію екологічного простору. На периферії екологічного простору також раритетна асоціація *Riccio carpetum natantis*, едифікатором якої є рідкісний вид водного печіночного моху *Riccio carpos natans* (рис. 2).

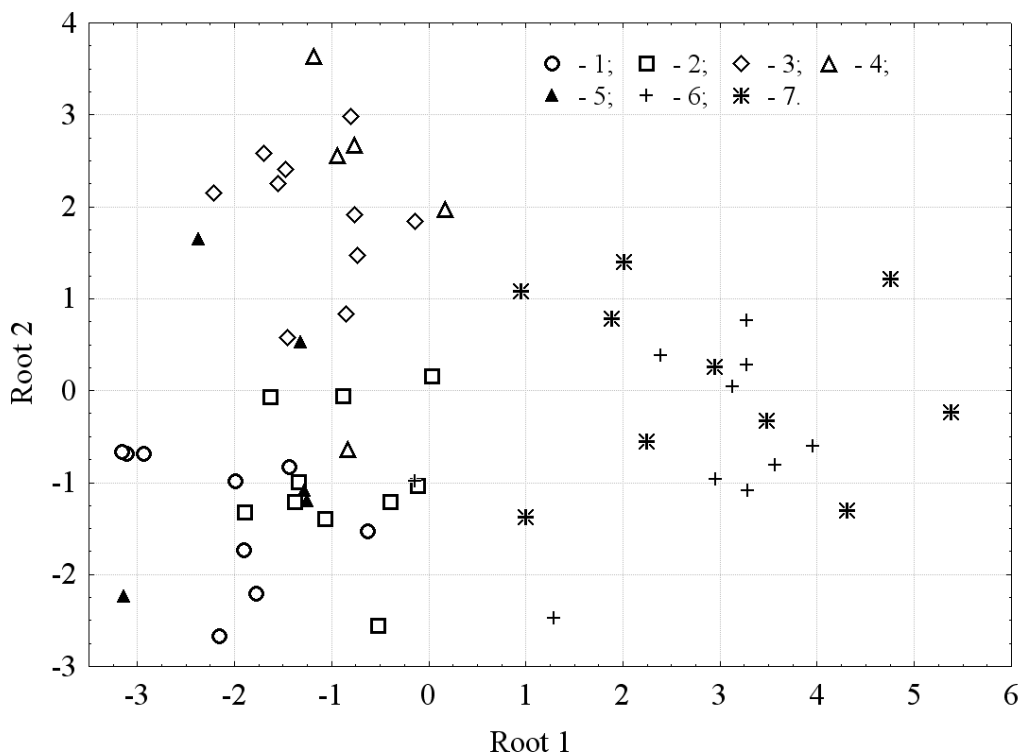


Рис. 2. Типологічна схема водної рослинності класу *Lemnetea*: числова нумерація синтаксонів відповідає таблиці.

Fig. 2. Typological scheme of aquatic vegetation from class *Lemnetea*: numerical numbering of syntaxes corresponds to the table

Висновки. Для екоотопів рослинності класу *Lemnetea* характерний вузький діапазон варіювання значень екологічних параметрів. Фітоценози класу вирізняються низьким рівнем структурної організації та бідним видовим складом. Типологічну схему водної рослинності класу *Lemnetea* спрощено можна уявити у формі трикутника, на вершинах якого розташовані асоціації *Lemnetum minoris*, *Lemnetum trisulcae* і *Spirodelo-Salvinietum natantis*. Паритетні фітоценози *Riccioarpetum natantis* і *Riccietum fluitantis* займають на периферії екологічного простору вільноплаваючої рослинності.

Список літератури:

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. Дубына Д.В. Вища водна рослинність // Рослинність України. – К.: Фітосоціоцентр, 2006. – 412 с.
6. Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс. – СПб: Питер, 2001. – 368 с.
7. Енюков И.С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 232 с.
8. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков и структур. – М.: Статистика, 1980. – 349 с.
9. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. Третє наближення. – К.: Фітосоціоцентр, 2008. – 296 с.
10. Сорока М.І. Рослинність Українського Розточчя. – Львів: Світ, 2008. – 434 с.
11. Ткачик В.П. Рослинність заповідника "Розточчя": класифікація методом Браун-Бланке. – Львів: НТШ, 1998. – 198 с.
12. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
13. Chytrý M. (ed.) Vegetace České republiky 3. Vodní a mokřadní vegetace. Vegetation of the Czech Republic, 3. Aquatic and wetland vegetation. – Academia, Praha, 2011. – 827 p.
14. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas // Scripta geobot. – 1979.– Vol. 9.– S. 1-122.
15. Rodwell J.S. British Plant Communities. Aquatic Communities Swamps and Tall-Herb Fens. – Cambridge Univer. Press, 1995. – V. 4. – 283 p.

TYPOLOGY OF UKRAINIAN ROZTOCHYA AQUATIC VEGETATION: CLASS LEMNETEA R. TX. 1955

R. M. Danylyk, V. M. Skrobala

The habitats typology of aquatic vegetation from the class Lemnetea R. Tx. 1955 in Ukrainian Roztochya is presented in this article. It is of a great practical value to indicate negative processes, predict the dynamics of vegetation, improve water environmental conditions, introduce the species, protect and sustain usage of plant resources etc. Typology of habitats was carried out by methods of obtaining data from phytoindicational score assessment of the environmental habitats' regimes on seven parameters: L – light, T – thermal mode, K – continentality, F – moisture mode, R – acidity, N – nitrogen, S – salt content. The research included three main stages: studying the structure of plant communities in the relative position of multidimensional space of environmental parameters, mathematical modeling of the structure and verification of mathematical model. The analysis' results of environmental parameters

dependence of habitats point out the presence of close connection between the individual variables. Thus, for parameters' thermal mode – continental correlation coefficient $r = 0.79$; salt mode is associated with the temperature ($r = -0.76$) and continentality ($r = -0.69$), nitrogen content – with continentality ($r = 0.68$) and water mode ($r = -0.62$). Thus, multivariate ordination of Ukrainian Roztochya aquatic vegetation form class Lemnetea is characterized by an ordered structure that gives grounds for mathematical procedure of the dimension of space reduction and building typological scheme. It was established that it is typical to have a narrow range variety of environmental parameters' values for the vegetation ecotypes of this class. Phytocenoses of this class may be distinguished by low structural organization and poor composition of species. Typological scheme of aquatic vegetation of the class Lemnetea can be represented as a triangle, associations of Lemnetum minoris, Lemnetum trisulcae and Spirodelo-Salviniatum natantis are in the corners of which. Rare plant communities of Ricciocarpum natantis and Riccietum fluitantis occupy the periphery of ecological space of free floating aquatic vegetation.

Key words: Ukrainian Roztochya, multidimensional typology, mathematical modeling, Lemnetea.

Отримано редколегією 15.02.2017