

Методика ботанічних досліджень

## Фітоіндикаційне оцінювання вимірів, отриманих при багатовимірному шкалюванні структури рослинного угруповання

ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ ЖУКОВ

ZHUKOV A.V. (2015). **Phytoindicator estimation of the multidimensional scaling dimantion of the plant Communities structure.** *Chornomors'k. bot. z.*, **11** (1): 84-98. doi:10.14255/2308-9628/15.111/8.

Plant community ordination by means of multidimensional scaling has been carried out to reveal optimum ways of preliminary transformation of data and the similarity/dissimilarity measure, to identify multidimensional dimantions in terms of edafic properties and phytoindicator scales and to reveal character of interrelations of matrixes of plant community, phytoindicator scales and edafic properties. The received results testify that edafic and climatic scales matrixes bear the complementary information on edaphotop properties and possibly climatop. Most possibly that climatic scales at large-scale level bear the specific information on properties of environment. It is difficult to confirm, whether character of this information to adequate nominative properties of a scale at macrolevel is. But with confidence it is possible to say that climatic phytoindicator scales allow to differentiate ecological conditions in biogeocoenosis at large-scale level. Thus, at the given stage we tend to phenomenological interpretation of value of climatic phytoindicator scales at large-scale level.

*Keywords: multidimensional scaling, community structure, phytoindicator scales, Mantel test*

ЖУКОВ О.В. (2015). **Фітоіндикаційне оцінювання вимірів, отриманих за допомогою багатовимірного шкалювання структури рослинного угруповання.** *Чорноморськ. бот. ж.*, **11** (1): 84-98. doi:10.14255/2308-9628/15.111/8.

Проведено ординацію рослинного угруповання методами багатовимірного шкалювання, виявлено оптимальні способи попередньої трансформації даних і метрики подібності/розбіжності, ідентифіковано багатовимірні виміри у просторі едафічних і фітоіндикаційних показників і виявлено характер взаємозв'язків матриць рослинного угруповання, фітоіндикаційних шкал і едафічних властивостей. Отримані результати свідчать про те, що матриці едафічних і кліматичних шкал несуть взаємодоповнюючу інформацію про властивості едафотопу і, імовірно, кліматопу. Найбільш ймовірно те, що кліматичні шкали на великомасштабному рівні несуть специфічну інформацію про властивості середовища. Важко стверджувати, чи є характер цієї інформації адекватним номінативним властивостям шкали на макрорівні. Але із упевненістю можна говорити про те, що кліматичні фітоіндикаційні шкали дозволяють диференціювати екологічну обстановку в біогеоценозі на великомасштабному рівні. Таким чином, на даному етапі ми схилиємося до феноменологічної інтерпретації значення кліматичних фітоіндикаційних шкал на великомасштабному рівні.

*Ключові слова: багатомірне шкалювання, структура угруповання, фітоіндикаційні шкали, тест Мантеля*

ЖУКОВ А.В. (2015). **Фитоиндикационное оценивание измерений, полученных при многомерном шкалировании структуры растительного сообщества.** *Черноморск. бот. ж.*, **11** (1): 84-98. doi:10.14255/2308-9628/15.111/8.

Проведена ординація рослинного соообщества методами многомерного шкалирования, установлены оптимальные способы предварительной трансформации данных и метрики подобия/различия, идентифицированы многомерные измерения в пространстве эдафических и фитоиндикационных показателей и выявлен характер взаимосвязей матриц растительного сообщества, фитоиндикационных шкал и эдафических свойств. Полученные результаты свидетельствуют о том, что матрицы эдафических и климатических шкал несут взаимодополняющую информацию о свойствах эдафотопы и, вероятно, климатопы. Наиболее вероятно то, что климатические шкалы на крупномасштабном уровне несут специфическую информацию о свойствах среды. Трудно утверждать, является ли характер этой информации адекватным номинативным свойствам шкалы на макроуровне. Но с уверенностью можно говорить о том, что климатические фитоиндикационные шкалы позволяют дифференцировать экологическую обстановку в биогеоценозе на крупномасштабном уровне. Таким образом, на данном этапе мы склоняемся к феноменологической интерпретации значения климатических фитоиндикационных шкал на крупномасштабном уровне.

*Ключевые слова:* многомерное шкалирование, структура сообщества, фитоиндикационные шкалы, тест Мантеля

Опис і моделювання просторових закономірностей в екологічних системах має на меті вирішення наступних завдань: розробку нових і модифікацію існуючих методів збору первинних даних; удосконалення процедур підготовки даних для математико-статистичного аналізу; створення системи відтворених критеріїв структурної організації екологічних систем, що піддається стійкій екологічній інтерпретації [EMSHANOV, 1999]. А. Мегарран [MAGURRAN, 2004] для вивчення просторового розміщення живих організмів були виділені наступні просторові ієрархічні рівні: рівень досліджуваної точки, рівень біогеоценозу, рівень ландшафту.

Фітоіндикаційні шкали є важливим інструментом для одержання інформації про властивості едафотопу. В контексті просторової екології перспективним можна вважати можливість застосовувати шкали для великомасштабного картографування. Фітоіндикаційні шкали застосовуються для описання екологічних ніш ґрунтових тварин на рівні досліджуваної точки та біогеоценозу [ZHUKOV et al., 2014; KUNAN et al., 2014], для адаптивної стратегії відбору проб і оцінки просторової організації угруповання ґрунтових тварин урбанізованих територій на різних ієрархічних рівнях [BALYUK et al., 2014], для оцінки ролі автотрофної та гетеротрофної консорцій в організації біогеоценозу [KUNAN et al., 2014].

Підхід до застосування фітоіндикаційних шкал для великомасштабного картографування запропонований у роботі Я.П. Дідуха й соавт. [DIDUKH et al., 1997]. Він складається з ординації рослинного угруповання методами аналізу головних компонент і наступною ідентифікацією виділених компонент за допомогою фітоіндикаційних шкал [EMSHANOV, 1999]. Мозаїки класифікуються за допомогою ієрархічного кластерного аналізу. Результати кластерного аналізу використовувалися для процедури дискримінантного аналізу, в якому в якості предикторів застосовувалися фітоіндикаційні оцінки, отримані для кожного сайту. Такий підхід використовується для оцінки ефективності фітоіндикації як інструмента вивчення факторів мозаїчності.

Я.П. Дідух [DIDUKH, 2011] виділяє едафічні та кліматичні фітоіндикаційні шкали. До едафічних належить показник гідроморф (*Hd*), змінність зволоження (*f*), аерація (*Ae*), режим кислотності (*Rc*), сольовий режим (*Sl*), вміст карбонатних солей (*Ca*), вміст засвоєваних форм азоту (*Nt*). До кліматичних шкал належать показники по чотирьох факторах: терморезим (*Tm*), омброрезим (*Om*), кріорезим (*Cr*) і континентальність клімату (*Kn*). Крім зазначених, виділяється ще шкала освітлення (*Lc*), яку можна охарактеризувати як мікрокліматичну шкалу. Можна припустити, що едафічні шкали та шкала освітлення будуть чутливі до варіабельності властивостей ґрунту на рівні окремої точки, що може бути основою для застосування фітоіндикаційних шкал для

великомасштабного картографування. Теплові властивості ґрунтів індикуються шкалою терморезиму, а гідротермічні – шкалою омброрезиму [DIDUKH, 2012]. Установлено регулярний характер варіювання кліматичних шкал на рівні біогеоценозу, на основі чого ідентифіковані тренди трансформації рослинності при просіданні рельєфу [EMSHANOV, 1999]. Однак змістовна сторона мінливості цих шкал на рівні точки або біогеоценозу не має поки ні теоретичного, не експериментального обґрунтування.

Метою нашої роботи є провести ординацію рослинного угруповання (дубняк зі свіжим різотрав'ям С<sub>2</sub> з напівосвітленою світловою структурою) методами багатовимірного шкалювання, виявити оптимальні способи попередньої трансформації даних і метрики подібності/розбіжності, ідентифікувати багатовимірні виміри у просторі едафічних і фітоіндикаційних показників і виявити характер взаємозв'язків матриць рослинного угруповання, фітоіндикаційних шкал і едафічних властивостей.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження проведені у квітні 2014 р. у природному заповіднику «Дніпровсько-Орільський». Досліджуваний полігон закладений на ділянці, що перебуває в зоні переходу арени р. Дніпро в притерасну заплаву р. Проточ. Полігон складається з 15 трансект. Кожна трансекта складена з 7 пробних точок. Відстань між рядами в полігоні становить 3 м.

Полігон знаходиться в межах лісового масиву. Мікрорельєф має вирівняний характер з деяким зниженням у північному напрямку. Характерні ділянки з порушеним ґрунтовим покривом у результаті педотурбаційної активності кабана. У межах кожного квадрата розміром 3×3 м було проведено описання рослинності. По кутах квадратів було здійснено вимірювання едафічних властивостей.

Вимірювання твердості ґрунтів проведене в польових умовах за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp на глибину до 100 см з інтервалом 5 см. Середня похибка результатів вимірів приладу становить ±8%. Виміри зроблено конусом з розміром поперечного перерізу 2 см<sup>2</sup>. У межах кожної точки вимірювання твердості ґрунту зроблено в однократній повторності. Для проведення вимірювання електропровідності ґрунту *in situ* використався сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.). Цей сенсор працює разом з портативним приладом HI 993310. Тестер оцінює загальну електропровідність ґрунту, тобто об'єднану провідність ґрунтового повітря, води та часток ґрунту. Результати вимірів приладу представлені в одиницях насиченості ґрунтового розчину солями – г/л. Порівняння результатів вимірів приладом HI 76305 з даними лабораторних досліджень дозволили оцінити коефіцієнт перекладу одиниць як 1 дС/м = 155 мг/л [ZHUКOV et al., 2012]. Ґрунтову температуру вимірювали в період з 13 до 14 годин цифровими термометрами WT-1 (ПАО «Стеклоприбор», <http://bit.steklopribor.com>, точність – 0,1°C) на глибині 5–7 см. Потужність підстилки вимірювалася лінійкою, висота травостою – мірною рулеткою. Виміри електропровідності, температури, висоти травостою та потужності підстилки зроблені в трикратній повторності в кожній пробній точці. Агрегатну структуру оцінили методом сухого просівання за Савіновим, щільність ґрунту – за Качинським, вологість ґрунту – ваговим методом [VADYUNINA, KORCHAGINA, 1986].

Статистичні розрахунки проведені за допомогою програми Statistica 7.0 і програмної оболонки Project R "R: A Language and Environment for Statistical Computing" (<http://www.R-project.org/>). Оцінювання довірчих інтервалів і стандартного відхилення проективного покриття рослин було зроблено за допомогою бутстреп-підходу та виконано засобами пакета bootES [KIRBY, GERLANC, 2013].

Характеристика екоморф рослин наведена за О.Л. Бельгардом [BELGARD, 1950] і В.В. Тарасовим [TARASOV, 2005], бальна оцінка екоморф наведена за Н. М. Матвеевим

[MATVEEV, 2011], фітоіндикаційні шкали наведені за Я.П. Дідухом [DIDUKH, 2011]. Фітоіндикаційна оцінка градацій екологічних факторів проведена за Г.Н. Бузук і О.В. Созиновим [BUZUK, SOZINOV, 2009].

### Результати й обговорення

На досліджуваному полігоні рослинність представлена 36 видами (табл. 1).

Таблиця 1

Видовий склад і проективне покриття рослин дубняку зі свіжим різнотрав'ям

Table 1

Plant species composition and projection cover of oak forest with mesophilic motley grass

Клима-морфа	Життєва форма	Назва виду		Проективне покриття		
		Українська	Латинь	Середнє ± ст. помилка	- 95 %	+ 95 %
1	2	3	4	5	6	7
Ph	Дер.	В'яз гладенький	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	7,97±0,77	6,49	9,53
		Груша звичайна	<i>Pyrus communis</i> L.	0,29±0,13	0,10	0,62
		Дуб звичайний	<i>Quercus robur</i> L.	18,92±1,15	16,65	21,11
		Клен гостролистий	<i>Acer platanoides</i> L.	0,59±0,17	0,32	0,99
		Клен ясенелистий	<i>Acer negundo</i> L.	0,10±0,07	0,00	0,24
		Тополя біла	<i>Populus alba</i> L.	1,03±0,26	0,58	1,59
		Ясен звичайний	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	0,05±0,05	0,00	0,14
<b>Усього по деревному ярусі</b>				28,95±2,60	24,14	34,22
nPh	Кущ.	Бруслина європейська	<i>Euonymus europaea</i> L.	0,64±0,13	0,40	0,94
		Бирючина звичайна	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	0,02±0,01	0,00	0,05
		Глід оманливий	<i>Crataegus fallacina</i> Klokov	0,31±0,10	0,14	0,56
		Бузина чорна	<i>Sambucus nigra</i> L.	7,02±0,40	6,20	7,77
		Жимолость татарська	<i>Lonicera tatarica</i> L.	0,19±0,07	0,08	0,39
		Жостер проносний	<i>Rhamnus cathartica</i> L.	0,10±0,07	0,00	0,24
		Клен татарський	<i>Acer tataricum</i> L.	2,52±0,44	1,77	3,53
		Свидина кров'яна	<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz	0,15±0,07	0,06	0,33
<b>Усього по чагарниковому ярусу</b>				10,95±1,29	8,65	13,81
НКг	Бг.	М'яточник бур'яновий	<i>Ballota nigra</i> L.	0,18±0,08	0,06	0,40
		Розхідник звичайний	<i>Glechoma hederacea</i> L.	0,06±0,04	0,00	0,14
		Гравілат міський	<i>Geum urbanum</i> L.	0,42±0,07	0,30	0,55
		Кропива дводомна	<i>Urtica dioica</i> L.	1,64±0,30	1,16	2,39
		Буги́ла лісова	<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	0,25±0,08	0,13	0,47
		Костриця велетенська	<i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill.	0,06±0,03	0,01	0,15
		Собача кропива п'ятилопатева	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	0,10±0,05	0,02	0,23
		Фіалка запашна	<i>Viola odorata</i> L.	0,02±0,01	0,00	0,05
	Чистотіл великий	<i>Chelidonium majus</i> L.	0,11±0,03	0,06	0,19	
	Дв.	Кінський часник	<i>Alliaria petiolata</i> (M.Bieb.) Cavara et Grande	2,01±0,23	1,61	2,50
		Лопух справжній	<i>Arctium lappa</i> L.	0,07±0,05	0,01	0,27
	Од.	Герань Робертова	<i>Geranium robertianum</i> L.	0,03±0,03	0,00	0,09
Глуха кропива пурпурова		<i>Lamium purpureum</i> L.	0,10±0,03	0,05	0,16	

Продовження табл. 1						
1	2	3	4	5	6	7
Г	Од.	Мокриця середня	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill	9,10±1,18	7,08	11,62
		Бугила кервель	<i>Anthriscus longirostris</i> Bertol.	3,62±0,63	2,54	5,07
		Підмареник чіпкий	<i>Galium aparine</i> L.	0,62±0,11	0,44	0,87
G	Бг.	Конвалія звичайна	<i>Convallaria majalis</i> L.	0,22±0,09	0,08	0,45
		Проліска дволиста	<i>Scilla bifolia</i> L.	0,28±0,10	0,11	0,53
		Рястка Буше	<i>Ornithogalum boucheanum</i> (Kunth) Aschers.	0,01±0,01	0,00	0,03
		Хміль звичайний	<i>Humulus lupulus</i> L.	0,36±0,14	0,16	0,72
		Пшінка весняна	<i>Ficaria verna</i> Huds.	2,62±0,29	2,10	3,25
<b>Усього по трав'янистому ярусу</b>				<b>21,88±3,58</b>	<b>15,92</b>	<b>30,13</b>

Необхідно відзначити, що опис рослинності проводився ранньою весною до повного розпускання листів деревних рослин, тому отримані результати по деревному ярусу поступаються максимально можливим. Серед деревних рослин домінує *Quercus robur*. Йому трохи уступає *Ulmus laevis*. Усього деревостан представлений 7 видами рослин.

У чагарниковому ярусі представлено 8 видів. Найбільш типовими є *Sambucus nigra* і *Acer tataricum*.

У травостой виявлений 21 вид рослин. Гемікриптофіти багатолітники представлені 9 видами, серед яких переважає за проективним покриттям *Urtica dioica*. Дворічники представлені двома видами – *Alliaria petiolata* і *Arctium lappa*. Терофіти однорічники представлені трьома видами, серед яких переважає *Stellaria media*. Геофіти багаторічники представлені 5 видами. Найбільшим проективним покриттям серед них характеризується *Ficaria verna*. Також слід зазначити рястку Буше (*Ornithogalum boucheanum*), що входить до Червоної книги України.

Отримані результати дозволяють дати типологічну характеристику рослинного угруповання, у межах якого розташований експериментальний полігон, за О.Л. Бельгардом (1950). Даний фітоценоз належить до групи аренних лісів і є дубняком зі свіжим різнотрав'ям С<sub>2</sub> з напівосвітленою світловою структурою.

Для ординації рослинного угруповання було використане неметричне багатовимірне шкалювання, яке вважається однією з найкращих і робастних процедур непрямой ординації [OKSANEN, 2011]. Під робастністю розуміється здатність методу давати надійні результати навіть тоді, коли порушуються припущення, що лежать у його основі. Неметричне шкалювання може застосовуватися для ситуацій з будь-яким характером відгуку угруповань живих організмів на фактори навколишнього середовища [SHTIRTS et al., 2013].

Але застосування цього методу пов'язане з деякими особливостями. Насамперед, це вибір матриці мір зв'язку між об'єктами. Відомий широкий перелік мір зв'язку, тому залежно від вибору міри результат проведеного аналізу може суттєво різнитися. Крім того, розрахункова процедура виконання неметричного шкалювання є ітераційною без гарантованого збіжного рішення. Це значить, що користувач повинен розглянути кілька альтернативних результатів і деяким чином розпізнати та вибрати найкраще рішення.

Рішення для кожної кількості вимірів не є підмножиною рішення більшої розмірності, тобто є в деякому сенсі самостійним варіантом ординації угруповання.

Для визначення кращої метрики розбіжності-подібності можна виходити із припущення про те, що отримана на її основі матриця повинна характеризуватися найбільшою ранговою кореляцією з факторами зовнішнього середовища. Вибір був зроблений серед наступних метрик: евклідова, манхеттенівська, Гувера, Брея-Куртиса,

Кульчинського, Морісіта, Горна-Морісіта, біноміальна, Као, Жаккара, Маунфорда, Рауп-Кріка, Канберра, Чао [OKSANEN, 2011].

Попереднє перетворення експериментальних даних також впливає на результати аналізу [LEGENDRE, GALLAGHER, 2001]. Поряд з безпосереднім використанням отриманих даних практикуються такі форми перетворення, як витяг логарифма або кореня квадратного,  $\chi^2$ -квадрат перетворення, трансформація Хеллінджера та вісконсіанська трансформація [OKSANEN, 2011].

У таблиці 2 наведені результати обчислення кореляції Спірмена з матрицями дистанцій між сайтами відбору проб, установленими за видовою структурою рослинного угруповання та матрицями дистанцій, знайденими на основі факторів навколишнього середовища та фітоіндикаційних шкал.

**Таблиця 2**  
**Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена матриць мір розбіжності-подібності між сайтів відбору проб за таксономічною матрицею рослин і змінних навколишнього середовища**

**Table 2**  
**Spearman's rank correlation coefficients of distinction-similarity matrixes between sampling sites of taxonomic and environmental variables matrixes of plants community**

Метрика	Спосіб трансформації даних						
	1	2	3	4	5	6	7
Евклідова	0,35	0,42	0,41	0,32	0,43	0,32	0,30
Манхетгенівська	0,39	0,43	0,44	0,35	0,48	0,41	0,47
Гувера	0,35	0,41	0,40	0,35	0,45	0,43	0,42
Брея-Куртіса	0,44	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>	0,48	0,48	0,46	0,47
Кульчинського	0,44	0,48	<b>0,49</b>	0,47	0,47	0,46	0,47
Горна-Морісіта	0,37	0,43	0,41	-0,20	-0,42	-0,19	-0,01
Біноміальна	0,37	0,45	0,43	0,42	0,43	0,39	0,42
Као	0,43	0,42	0,42	0,43	0,42	0,43	0,43
Жаккара	0,40	0,39	0,39	0,33	0,32	0,36	0,05
Маунфорда	0,44	<b>0,49</b>	<b>0,49</b>	0,48	0,48	0,46	0,47
Раупа-Кріка	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Канберра	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Чао	0,46	0,45	0,45	0,46	0,44	0,46	0,44

**Умовні позначки:** 1 – дані не трансформовані; 2 – логарифмовані дані; 3 – корінь квадратний; 4 – дані, нормовані до 1; 5 – перетворення Хеллінджера; 6 –  $\chi^2$ -трансформація; 7 – вісконсіанська трансформація.

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що найбільшою кореляцією з факторами середовища характеризуються матриці на основі метрики Брея-Куртіса, Кульчинського та Маунфорда та для перетворень логарифмування та витягу квадратного кореня. Таким чином, на даному етапі аналізу можна із усієї множини метрик і способів трансформації виділити метрики Брея-Куртіса, Кульчинського та Маунфорда, а серед перетворень – логарифмування та витяг кореня квадратного.

Слід зазначити, що для переважної більшості метрик і способів трансформації коефіцієнти рангової кореляції досить високі, що не дозволяє однозначно вказати на деяких з них як такі, які особливо є підходящими для описання відносин подібності-розбіжності в екологічному угрупованні. Швидше за все, більш доречно говорити про те, що при наявності деякого ступеня структурованості угруповання структурні компоненти можуть бути виявлені більшістю існуючих метрик. Найбільш чутливі метрики до факторів середовища варто розглядати тільки в контексті конкретного угруповання.

Із всіх розглянутих метрик істотно відрізняється індекс Горна-Морісіта. Його застосування дає зворотні коефіцієнти кореляції між розбіжністю-подібністю сайтів

відбору проб за таксономічною матрицею та по змінним середовища й фітоіндикаційним шкалам.

Для вибору між зазначеними метриками та способами трансформації даних був проведений на їх основі кластерний аналіз, після чого ми оцінили здатність факторів середовища дискримінувати виділені кластери.

Кластерні рішення, які отримані на основі різних метрик, представлені на рисунку 1. Як ми бачимо, виділювані кластери досить однорідні та співвимірні поза очевидною залежністю від використовуваної метрики. Для всіх кластерних рішень ми зупинилися на 5 кластерах. Візуально цей варіант є компромісним для всіх типів метрик. Приналежність сайту до одного із кластерів була дискримінована на основі покрокової процедури, при якій використалися змінні середовища та фітоіндикаційні оцінки. Статистики, які вказують на якість дискримінантного аналізу, представлені в таблиці 3.

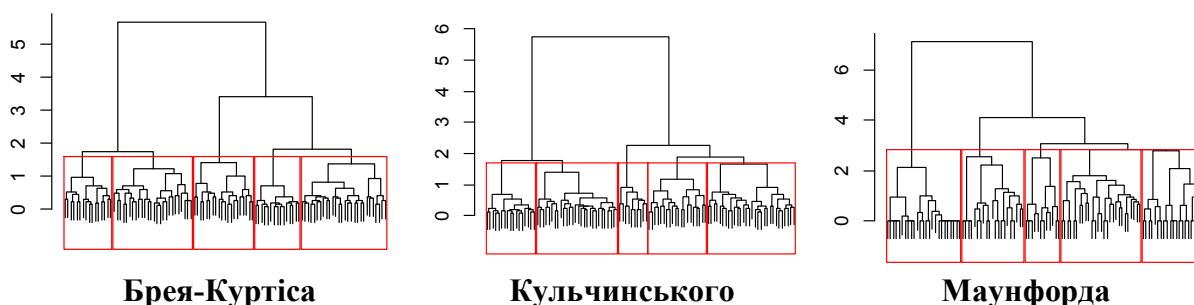


Рис. 1. Кластерний аналіз сайтів. Трансформація даних – корінь квадратний, метод Варда (нумерація сайтів не наведена).

Fig. 1. Cluster analysis of sites. Transformation of data – a root square, Ward method (numbering of sites is not resulted).

Отримані результати свідчать про те, що кластерні рішення на основі обраних метрик і способів трансформації даних можуть бути вірогідно дискриміновані за допомогою факторів середовища та фітоіндикаційних шкал.

Таблиця 3

Статистичні характеристики покрокового дискримінантного аналізу кластерів сайтів дослідженого полігона за факторами середовища та фітоіндикаційними шкалами

Table 3

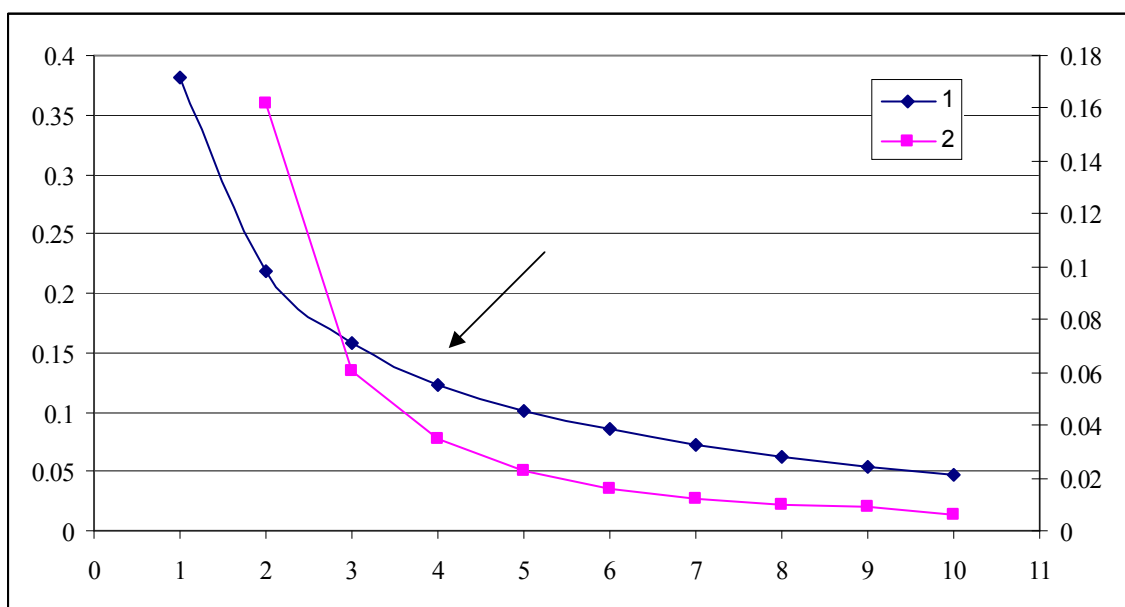
Statistical characteristics of the step-by-step of discriminant analysis of cluster sites of the investigated range under factors of environment and phytoindicator scales

Міра відстані	Перетворення	Лямбда Уїлкса	F-відношення	p-рівень	% вірної класифікації
Брея-Куртіса	Корінь квадратний	0,023	3,61	0,000	95,24
Кульчинського		0,002	5,47	0,000	99,05
Маунфорда		0,023	3,61	0,000	93,33
Брея-Куртіса	Логарифмування	0,004	4,34	0,000	99,05
Кульчинського		0,005	5,49	0,000	96,19
Маунфорда		0,023	3,61	0,000	93,33

Точність дискримінації варіює від 93,33 до 99,05 %. Лямбда Уїлкса вказує на здатність сукупності дискримінантних змінних до розділення досліджених категоріальних об'єктів (кластерів): 1 – немає можливості дискримінації, а 0 – повна

дискримінація. Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що для вивченого нами рослинного угруповання міра відстані Кульчинського з попередньою трансформацією даних у вигляді витягу кореня квадратного надає матрицю відстані, що найбільшою мірою корелює з факторами середовища та найчутливіша до структури рослинних угруповань. На цій основі для багатовимірному шкалювання ми скористалися метрикою Кульчинського даних по проективному покриттю видів рослин з попереднім витягом кореня квадратного.

Багатовимірне шкалювання дозволяє в просторі меншої розмірності відобразити вихідний багатовимірний масив даних. Питання про кількість вимірів може бути вирішене шляхом оцінки швидкості зміни статистики стресу при збільшенні кількості вимірів. Стрес у термінах багатовимірному шкалювання є мірою точності відображення вихідних даних у просторі меншої розмірності. Якщо при збільшенні кількості вимірів зменшення стресу відбувається повільно, то такий приріст кількості не дає істотного поліпшення якості відображення. Таким чином, різкий перегин кривої стрес-кількість вимірів може вказувати на оптимальну кількість вимірів. Чіткість перегину підсилюється, якщо використати диференціальний стрес – різницю значень стресу між сусідніми кількостями вимірів (рис. 2).



**Рис. 2.** Залежність стресу та диференціального стресу від кількості вимірів.

**Умовні позначки:** вісь абсцис – кількість вимірів; вісь ординат – стрес (1, ліворуч) і диференціальний стрес (2, праворуч). Стрілка вказує на зону різкого перегину диференціального стресу.

**Fig. 2.** Dependence of stress and differential stress on number of measurements.

**Symbols:** an x-axis – number of measurements; an axis of ordinates – stress (1, at the left) and differential stress (2, on the right). The arrow specifies in a zone of a sharp excess of differential stress.

Результати, представлені на графіку, свідчать про те, що після чотирьох обраних вимірів і більше стрес збільшується дуже плавно. Це дозволило нам зупинитися на відображенні багатовимірної хмари даних у чотирьох вимірах.

Аналіз коефіцієнтів кореляції показників середовища та значень вимірів є основою для інтерпретації цих вимірів.

Вимір 1 найбільшою мірою відбиває градієнт умов вологості, що існує в межах досліджуваного полігону (табл. 4). На рисунку 3 показаний вектор фітоіндикаційної шкали вологості та характер мінливості цього показника в просторі перших двох вимірів. Цей рисунок переконливо свідчить, що вимір 1 упорядковує експериментальні сайти в градієнті умов вологості. Крім того, вимір 1 залежить від шкали аеробності



(знак залежності від'ємний), що закономірно, тому що ґрунтова волога та повітря є антагоністами. Вимір 1 позитивно корелює із проєктивним покриттям деревних рослин і негативно – з рівнем освітлення та кислотності.

Відносно виміру 1 до твердості ґрунту спостерігається наступна закономірність. Високі позитивні коефіцієнти кореляції характерні для твердості на великій глибині (70–100 см), значно негативні – для глибин 20–50 см і помірні позитивні – для глибин 0–15 см.

З агрегатних фракцій позитивно з виміром 1 корелюють великі агрегати 5–7 – > 10 мм і 2–3 мм, відповідно негативно – більш дрібні (3–5 і дрібніше 1–2 мм).

З едафічних характеристик значною негативною кореляцією з виміром 1 характеризуються ґрунтова температура, щільність, потужність підстилки й вологість ґрунту.

Таблиця 4

Кореляція вимірів, отриманих у результаті багатовимірного шкалювання та показників факторів середовища та фітоіндикаційних шкал

Table 4

Correlation of the measurements received as a result of multidimensional scaling and indicators of factors of environment and phytoindicator scales

Показники	Виміри				$r^2$	Pr (>r)	Коди значимості
	NMDS1	NMDS2	NMDS3	NMDS4			
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Твердість (у МПа) на глибині</i>							
0–5 см	0,13	0,86	0,09	0,48	0,05	0,28	
5–10 см	0,24	0,17	0,59	–0,75	0,01	0,93	
10–15 см	0,22	0,28	0,24	–0,90	0,04	0,40	
15–20 см	0,07	0,44	0,09	–0,89	0,04	0,42	
20–25 см	–0,22	0,70	0,02	–0,68	0,06	0,19	
25–30 см	–0,37	0,70	0,17	–0,59	0,02	0,80	
30–35 см	–0,28	0,70	–0,65	–0,11	0,01	0,96	
35–40 см	–0,54	–0,10	0,57	0,61	0,01	0,92	
40–45 см	–0,54	–0,07	–0,71	–0,45	0,01	0,92	
45–50 см	–0,43	–0,59	0,67	0,12	0,01	0,93	
50–55 см	–0,13	–0,82	0,22	0,52	0,03	0,57	
55–60 см	0,03	–0,79	0,27	0,55	0,07	0,12	
60–65 см	0,21	–0,89	–0,05	0,40	0,06	0,16	
65–70 см	0,29	–0,76	0,22	0,54	0,07	0,13	
70–75 см	0,62	–0,43	0,54	0,37	0,13	0,01	**
75–80 см	0,75	–0,38	0,53	–0,11	0,14	0,00	**
80–85 см	0,72	–0,19	0,57	–0,35	0,19	0,00	**
85–90 см	0,83	–0,17	0,35	–0,40	0,14	0,01	**
90–95 см	0,79	–0,14	0,42	–0,43	0,13	0,01	**
95–100 см	0,84	–0,14	0,38	–0,37	0,11	0,03	*
<i>Агрегатна структура ґрунтового шару 0–10 см, %</i>							
>10 мм	0,60	–0,46	–0,48	0,44	0,06	0,19	
7–10 мм	0,38	–0,71	–0,46	–0,37	0,05	0,29	
5–7 мм	0,40	–0,41	0,15	–0,80	0,02	0,82	
3–5 мм	–0,55	0,67	–0,47	0,16	0,02	0,81	
2–3 мм	0,86	–0,42	–0,28	–0,01	0,04	0,39	
1–2 мм	–0,36	0,42	0,83	–0,07	0,05	0,23	
0,5–1 мм	–0,14	0,09	0,97	–0,16	0,04	0,43	
0,25–0,5 мм	–0,74	0,27	0,20	0,58	0,09	0,06	.
<0,25 мм	–0,71	0,44	–0,48	0,25	0,12	0,01	*

Продовження табл. 4							
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Едафічні характеристики</i>							
Коріння, в % (Roots)	0,11	0,19	0,15	-0,96	0,14	0,00	**
Електропровідність ґрунту, дСм/м (EC)	0,25	-0,33	-0,10	0,90	0,18	0,00	**
Температура шару ґрунту 5–7 см, °С	-0,46	-0,64	0,49	0,38	0,19	0,00	***
Потужність підстилки, см	-0,57	0,70	-0,07	0,41	0,11	0,02	*
Вологість ґрунту, %	-0,49	0,59	0,64	0,08	0,09	0,07	.
Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	-0,46	-0,37	-0,72	0,36	0,04	0,45	
<i>Фітоіндикаційні шкали Я. П. Дідуха (Didukh, 2011)</i>							
Hd	0,81	-0,03	-0,30	0,51	0,47	0,00	***
ffl	-0,42	-0,63	0,45	0,47	0,25	0,00	***
Rc	-0,65	-0,67	0,10	0,35	0,18	0,00	***
Sl	-0,37	0,83	-0,42	-0,08	0,23	0,00	***
Ca	0,12	-0,64	-0,51	0,56	0,25	0,00	***
Nt	0,71	0,19	0,61	-0,30	0,14	0,01	**
Ae	-0,78	0,54	0,31	0,10	0,34	0,00	***
Tm	-0,66	0,31	0,59	-0,34	0,29	0,00	***
Om	0,03	0,56	-0,63	0,54	0,28	0,00	***
Kp	0,32	-0,32	0,19	0,87	0,46	0,00	***
Cr	-0,22	0,54	-0,68	-0,45	0,17	0,00	**
Lc	-0,75	-0,06	-0,57	0,34	0,40	0,00	***
<i>Індекси, засновані на екоморфах О. Л. Бельгарда</i>							
Трофоморфи (Troph_B)	-0,15	0,91	0,38	-0,02	0,56	0,00	***
Гігроморфи (Hugr_B)	-0,41	-0,86	-0,24	-0,19	0,68	0,00	***
Геліоморфи (Hel_B)	0,14	0,56	0,72	0,38	0,31	0,00	***
Сільванти, % (Sil)	0,87	-0,11	-0,39	0,29	0,66	0,00	***
<i>Життєві форми за Раункієром</i>							
Фанерофіти (Ph)	0,89	0,35	0,26	0,13	0,86	0,00	***
Низькі дерева, високі кущі (nPh)	-0,05	-0,53	-0,83	0,16	0,56	0,00	***
Гемікріптофіти (НКГ)	-0,66	-0,19	-0,63	-0,37	0,18	0,00	***
Теріофіти (Т)	-0,81	0,03	0,53	-0,24	0,81	0,00	***
Геофіт (G)	-0,57	-0,49	-0,65	0,08	0,31	0,00	***

Примітка: коди значимості – ‘\*\*\*’ – < 0,001; ‘\*\*’ – < 0,01; ‘\*’ – < 0,05; ‘.’ – < 0,1; p – рівень, заснований на 999 пермутаціях.

Вимір 2 відбиває варіабельність режиму трофності едафотопу. Про це свідчать високі позитивні коефіцієнти кореляції зі шкалою сольового режиму ґрунту та часткою мегатрофів. Важливо відзначити, що ступінь мінералізації ґрунтового розчину зворотно корелює зі змістом карбонатів у ґрунті, що показано на рисунку 3.

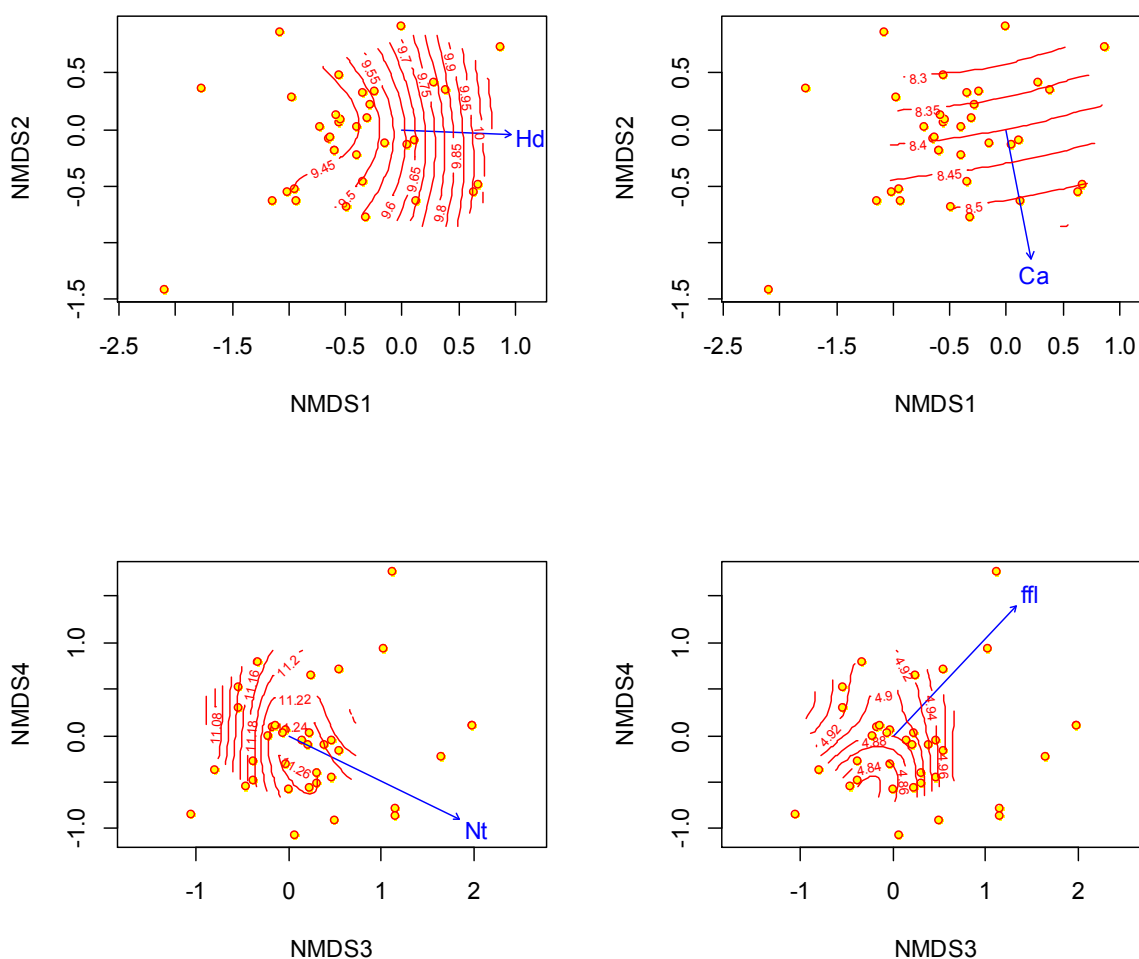
Вимір 2 позитивно корелює із твердістю ґрунту на глибині 0–5 і 20–35 см і негативно – на глибині 45–80 см. Як маркер цього виміру можна розглядати ґрунтову температуру.

Вимір 3 сильно корелює з показником вмісту засвоєваних форм азоту, а вимір 4 – зі змінністю зволоження (рис. 3).

У цілому, кожний вимір ординує угруповання уздовж деякого екологічного тренда, якому можна інтерпретувати в термінах одного або декількох переважаючих корелятивних ознак. Ці тренди мають складну композитну природу, що відбивається як на рівні структури рослинного покриву, так і на рівні варіабельності ґрунтових властивостей.

Важливо відзначити, що ординаційні виміри рослинності полігону, що за своїми розмірами не перевищує ділянки з однорідним фітоценозом, тобто менше розмірів біогеоценозу, характеризуються високою кореляцією з фітоіндикаційними шкалами. Це

дозволяє припустити, що змістовна інтерпретація фітоіндикаційних шкал на дослідженому масштабному рівні може відрізнятись від їх номінативного значення.



**Рис. 3. Вектори екологічних факторів і їхньої ізолнії в просторі осей багатовимірного шкалювання.**

Умовні позначки: див. табл. 1; крапками показане розміщення видів.

**Fig. 3. Vectors of ecological factors and their isoline in space of axes multidimensional scaling**

Symbols: see tab. 1; by points placing of kinds is shown.

Багатовимірні виміри можуть бути пояснені в термінах відповідних шкал за умови їх взаємної кореляції. Якщо рівень варіабельності едафічних властивостей у межах досліджуваної території нижчий, ніж поріг чутливості фітоіндикатора, тоді спостережувана регулярність структур буде мати інші причини, ніж дія едафічних або кліматичних факторів, які формально індикуються відповідною шкалою. Як наслідок, інтерпретація багатовимірних вимірів в термінах фітоіндикаційних шкал буде лише формальною.

Фітоіндикаційні шкали в цілому вважаються як незалежні (ортогональні), або майже незалежні. Незалежність припускає той факт, що шкали несуть додаткову інформацію, а не дублюють ту, котра втримується в інших шкалах. У рамках окремого біогеоценозу лімітуючі значення можуть мати обмежена кількість екологічних факторів, які будуть визначати структурування угруповання. Необхідно мати на увазі також фактори нейтральної природи, які особливо суттєві на масштабному рівні

біогеоценозу. Саме ці фактори вносять «шум» у взаємодію едафічних факторів і рослинності, яка визначає індикаційні здатності останньої.

На рівні біогеоценозу середнє значення індикаторних шкал вказує на характеристику фітоценозу як цілого та дозволяє виявити властивості едафотопу, що надає можливість порівнювати угруповання та едафотопи, на яких вони формуються, між собою. Для порівняння використовуються всі шкали у рамках тієї або іншої системи шкал. У межах біогеоценозу шкали також можуть мати інформаційну цінність, але кількість інформаційно важливих шкал визначається характером структурованості рослинного угруповання. Кількість інформаційно важливих шкал стає меншою, а шкали здобувають властивості композитності. Інформаційна цінність для діагностики едафічних властивостей переходить від фітоіндикаційних шкал як самостійних джерел інформації до осей екологічного простору. У випадку процедури багатовимірного шкалювання ці осі відображаються вимірами.

При інтерпретації цих вимірів у першу чергу розглядаються едафічні шкали. Кліматичні шкали за визначенням мають сенс на набагато більш високому масштабному рівні. Очевидно, що континентальність ніяк не може змінюватися у межах дуже обмеженого простору. Кореляцію кліматичних індикаторних шкал із багатовимірними вимірами можна розглядати як наслідок двох причин. По-перше, номінативна шкала може бути відображенням екологічних особливостей видів, які також можуть проявлятися на локальному рівні. Ці особливості, імовірно, можуть бути співзвучні змісту відповідної шкали або трохи трансформуватися при переході на інший масштабний рівень. По-друге, кореляції кліматичних шкал можуть бути результатом погоджених трендів рослинного угруповання, які ініційовані едафічною компонентою.

Для оцінки ролі різних компонентів у варіабельності організації рослинного угруповання були розраховані загальні й часткові тести Мантеля (табл. 5).

Таблиця 5

Кореляції матриць відстаней (тест Мантеля)

Table 5

Correlations of matrixes of distances (Mantel test)

	Едафічні показники	Фітоіндикаційні шкали			Просторові координати
		Всі	Кліматичні	Едафічні	
<b>Тест Мантеля</b>					
Рослинне угруповання	$r = 0,08,$ $p = 0,05$	$r = 0,31,$ $p = 0,001$	$r = 0,29,$ $p = 0,001$	$r = 0,26,$ $p = 0,001$	$r = 0,23,$ $p = 0,002$
<b>Частковий тест Мантеля (керуючі змінні)</b>					
Простір	$r = 0,06,$ $p = 0,05$	$r = 0,25,$ $p = 0,001$	$r = 0,24,$ $p = 0,001$	$r = 0,22,$ $p = 0,001$	–
Фітоіндикаційні шкали	$r = 0,06,$ $p = 0,14$	–	–	–	$r = 0,14,$ $p = 0,001$
Кліматичні шкали окремо	$r = 0,09,$ $p = 0,05$	–	–	$r = 0,18,$ $p = 0,001$	$r = 0,17,$ $p = 0,001$
Едафічні шкали окремо	$r = 0,07,$ $p = 0,07$	–	$r = 0,22,$ $p = 0,001$	–	$r = 0,17,$ $p = 0,001$
Едафічні показники	–	$r = 0,30,$ $p = 0,001$	$r = 0,29,$ $p = 0,001$	$r = 0,26,$ $p = 0,001$	$r = 0,22,$ $p = 0,001$

Матриця рослинного угруповання, вірогідно, корелює з матрицею едафічних показників, фітоіндикаційних шкал і просторових координат. Просторові координати є маркером «просторової компоненти» мінливості. Під нею мається на увазі регулярна

компонента нейтральної природи. Матриця фітоіндикаційних шкал характеризується найбільшою кореляцією з матрицею угруповання ( $r = 0,31$ ).

Для розуміння причин кореляції може бути проведений частковий тест Мантеля. Зв'язок між матрицями може бути прямий, або опосередкований третім фактором. Матриця цього фактора розглядається як керуюча змінна. Якщо частковий тест Мантеля має менше значення, ніж загальний, тоді керуючий фактор є причиною кореляції, що виявляється загальним тестом [LEGENDRE, FORTIN, 1989].

Просторова матриця знижує значення тесту Мантеля з едафічними показниками (частковий тест Мантеля  $r = 0,14$  проти тесту Мантеля  $r = 0,23$ ). Це дозволяє припустити, що зв'язок структури рослинного угруповання з вимірюваними едафічними показниками функціональний лише почасти, а істотний його компонент обумовлений дією причин, які впливають спільно на рослинне угруповання та на ґрунт.

Для фітоіндикаційної матриці роль просторової компоненти не істотний (частковий тест Мантеля  $r = 0,25$  проти тесту Мантеля  $r = 0,31$ ), тому можна стверджувати, що фітоіндикація за допомогою шкал може проводитися на великомасштабному рівні, тому що зв'язок між структурою рослинного угруповання та фітоіндикаційними шкалами на великомасштабному рівні має функціональний характер.

У свою чергу, фітоіндикаційна матриця не здійснює керуючого впливу на зв'язок рослинного угруповання та вимірюваних едафічних показників, але визначає деякий компонент просторової мінливості рослинного угруповання.

Закономірно, що едафічна матриця не здійснює керуючого впливу ні на зв'язок матриці рослинного угруповання з матрицею фітоіндикаційних шкал, ні на зв'язок з матрицею просторових координат.

Матриця фітоіндикаційних шкал може бути розбита на дві підматриці – кліматичних і едафічних шкал. Кореляція між матрицями, розрахованими на підставі кліматичних і едафічних фітоіндикаційних шкал, становить  $r = 0,35$ ,  $p = 0,001$ . Кожна із цих матриць корелює з матрицею рослинного угруповання ( $r = 0,29$  і  $r = 0,26$  для кліматичної та едафічної матриць відповідно). Просторова та едафічна матриці як керуючі діють на кожну з підматриць подібним чином, як і на матрицю фітоіндикаційних шкал у цілому. Матриця кліматичних шкал як керуюча трохи знижує кореляцію матриці угруповання з матрицею едафічних шкал. Подібне спостерігається у випадку, коли матриця едафічних шкал виступає як керуюча.

Отримані результати свідчать про те, що матриці едафічних і кліматичних шкал несуть взаємодоповнюючу інформацію про властивості едафотопу та, імовірно, кліматопу. Найбільш вірогідно те, що кліматичні шкали на великомасштабному рівні несуть специфічну інформацію про властивості середовища. Важко стверджувати, чи є характер цієї інформації адекватним номінативним властивостям шкали на макрорівні. Але із упевненістю можна говорити про те, що кліматичні фітоіндикаційні шкали дозволяють диференціювати екологічну обстановку в біогеоценозі на великомасштабному рівні. Таким чином, на даному етапі ми схилиємося до феноменологічної інтерпретації значення кліматичних фітоіндикаційних шкал на великомасштабному рівні.

#### References

- BALYUK YU.A., KUNAH O.N., ZHUKOV A.V., ZADOROZHNYAYA G.A., GANZHA D.S. (2014). *Biologicheskij vestnik Melitopolskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni Bogdana Hmel'nitskogo*, 4 (3): 8-33. [Балюк Ю.А., Кунах О.Н., Жуков А.В., Задорожная Г.А., Ганжа Д.С. (2014) Адаптивная стратегия отбора проб для оценки пространственной организации сообществ почвенных животных урбанизированных территорий на различных иерархических уровнях. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 4 (3): 8-33]

- BELGARD A.L. (1950). *Lesnaya rastitelnost yugo-vostoka USSR*. Kiev: Izd-vo KGU, 263 p. [БЕЛЬГАРД А.Л. (1950). *Лесная растительность юго-востока УССР*. Киев: Изд-во КГУ. 263 с.]
- BUZUK G.N., SOZINOV O.V. (2009). Regressionnyi analiz v fitoindikatsii (na primere ekologicheskikh shkal D.N. Tsyiganova). *Botanika (issledovaniia)*. Sbornik nauchnykh trudov. In-t eksperiment. bot. NAN Belarusi. Minsk: Pravo i ekonomika. **37**: 356-362. [Бузук Г.Н., Созинов О.В. (2009). Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д.Н. Цыганова). *Ботаника (исследования): Сборник научных трудов. Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси*. Минск: Право и экономика. **37**:356-362]
- DIDUKH YA.P. (2012). *Osnovi bioindikatsii*. Kyiv: Naukova dumka. 344 p. [ДІДУХ Я.П. (2012). *Основи біоіндикації*. Київ: Наукова думка. 344 с.]
- DIDUKH YA.P., ESMANOV D.G., SHKOLNIKOV YU.A. (1997). *Ekologia*, **5**: 353-360. [Дидух Я.П., Емшанов Д.Г., Школьников Ю.А. (1997). Использование фитоиндикационных оценок при изучении структуры лесных экосистем. *Экология*, **5**: 353-360]
- DIDUKH, YA.P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre. 2011. 176 p.
- ESMANOV D.G. (1999). *Metody prostranstvennoi ekologii v izuchenii lesnykh ekosistem*. Kiev: Merkuri Gloub Ukraine, 1999. 220 p. [Емшанов Д.Г. (1999). *Методы пространственной экологии в изучении лесных экосистем*. Киев: Меркюри Глоуб Юкреин, 1999. 220 с.]
- KIRBY K.N. (2013). BootES: An R package for bootstrap confidence intervals on effect sizes. *Behavior Research Methods*, **45**: 905-927.
- KUNAH O.N., TRIFANOVA M. V., GANZHA D. S. (2014). *Biologichnyi visnik MDPU im. B. Hmelnickogo*, **2**: 115-141. [КУНАХ О.Н., Трифанова М.В., ГАНЖА Д.С. (2014). Зоо- и фитоиндикация роли автотрофной и гетеротрофной консорций в организации биогеоценоза. *Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького*, **2**: 115-141]
- KUNAH O.N., ZHUKOV A.V., BALJUK JU.A. (2013). *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya, himiya»*. **26** (65), 3. 107-126. [КУНАХ О.Н., Жуков А.В., Балюк Ю.А. (2013). Пространственное варьирование экоморфической структуры почвенной мезофауны урбазема. *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия»*, **26** (65), 3: 107-126]
- KUNAH O.N., ZHUKOV A.V., BALJUK JU.A. (2014). *Ekosistemy, ikh optimizatsia i ohrana*, **10**: 159-176. [КУНАХ О.Н., Жуков А.В., Балюк Ю.А. (2014). Экоморфический аспект пространственной организации сообщества мезопедобионтов урботехнозема. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*, **10**: 159-176]
- KUNAKH O.N., PROKOPENKO E.V., ZHUKOV A.V. (2014). *Gruntoznavstvo*, **14** (2). 101-119. [КУНАХ О.Н., ПРОКОПЕНКО Е.В., ЖУКОВ А.В. (2014). Экоморфическая организация сообществ пауков степной зоны Украины. *Грунтознавство*, **14** (2): 101-119]
- LEGENDRE P., FORTIN M. J. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, **80**: 107-138.
- LEGENDRE P., GALLAGHER E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*. **129**, 271-280.
- MAGURRAN A.E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. 215 p.
- MATVEEV N.M. (2011). *Osnovy stepnoho lesovedeniia professora A.L. Belgarda i ikh sovremennaia interpretatsiia*. Samara: Samarskii universitet. 126 p. [МАТВЕЕВ Н. М. (2011). *Основы степного лесоведения профессора А.Л. Бельгарда и их современная интерпретация*. Самара: Самарский университет. 126 с.]
- OKSANEN J., BLANCHET F.G., KINDT R., LEGENDRE P. (2011). *Community Ecology Package*. R package version 2.0-2. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- SHTIRC A.D., ZADOROZHNAJA G.A., KUNAH O.N., ZHUKOV A.V. (2013). *Ukrainy. Izv. Hark. entomol. o-va*. **XXI**, 1. 49-60. [ШТИРЦ А.Д., ЗАДОРОЖНАЯ Г.А., КУНАХ О.Н., ЖУКОВ А.В. (2013). Пространственная организация сообщества панцирных клещей (Acari: Oribatida) в почве сельскохозяйственного поля в условиях степной зоны Украины. *Изв. Харьк. энтомол. о-ва*. **XXI**, 1: 49-60]
- TARASOV V.V. (2005). *Flora Dnipropetrovskoi ta Zaporizkoi oblasti. Sudinni roslyni. Bioloheoekologichna kharakterystyka vydiv*. Dnipropetrovsk: Vid-vo DNU. 276 p. [ТАРАСОВ В.В. (2005). *Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біологоекологічна характеристика видів*. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ. 276 с.]
- VADYUNINA A.F., KORCHAGINA Z.A. (1986). *Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochv*. Moscow: Agropromizdat. 416 p. [ВАДЮНИНА А.Ф., КОРЧАГИНА З.А. (1986). *Методы исследования физических свойств почв*. Москва: Агропромиздат. 416 с.]
- ZHUKOV A.V., ZADOROZHNAJA G.A., ANDRUSEVICH E.V. (2012). *Biologichnyi visnik MDPU im. B.Khmelnitskogo*, **4**: 64-80. [ЖУКОВ А.В., ЗАДОРОЖНАЯ Г.А., АНДРУСЕВИЧ Е.В. (2012). Оптимальная стратегия отбора почвенных образцов на основании данных об электрической проводимости техноземов. *Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького*, **4**: 64-80]

- ZHUKOV O.V. (2010). *Ekolohia ta noosferolohia*. **21** (3-4). 109-111. [Жуков О.В. (2010). Екоморфи Бельгарда–Акімова та екологічні матриці. *Екологія та ноосферологія*, **21** (3-4). 109-111.]
- ZHUKOV O.V., KUNAH O.M., VALYUK YU.O. (2014). *Visnik Lvivskoho natsionalnoho universitetu. Seriya Biologichna*, **65**: 224-237. [Жуков О.В., КУНАХ О.М., БАЛЮК Ю. О. (2014). Просторове варіювання екоморфічної структури ґрунтової мезофауни лісопаркового насадження (на прикладі парку в межах м. Дніпропетровська). *Вісник Львівського національного університету. Серія Біологічна*, **65**: 224-237]

Рекомендує до друку  
М.Ф. Бойко

Отримано 08.02.2015

Адреса автора:

О.В. Жуков  
Дніпропетровський національний університет  
імені Олесь Гончара  
вул. Казакова, 24, корпус 17  
м. Дніпропетровськ, 49010  
Україна  
e-mail: zhukov\_dnepr@rambler.ru

Author's address:

A.V. Zhukov  
Oles Gonchar Dnepropetrovsk national university  
17, Kazakova str.  
Dnepropetrovsk, 49010  
Ukraine  
e-mail: zhukov\_dnepr@rambler.ru