



В.М. СКРОБАЛА

Національний лісотехнічний університет України
м. Львів, 79057, Україна

БАГАТОВИМІРНА ТИПОЛОГІЯ ЯЛИНОВИХ ЛІСІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Скробала В.М. **Багатовимірна типологія ялинових лісів Українських Карпат.** – Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України. – 2019. – № 1(4). – С 34–39.

Аналіз місцезростань ялинових лісів Українських Карпат здійснювали на основі фітоіндикаційної оцінки екологічних умов сімдесяти п'яти угруповань за шістьма параметрами: освітленість, термічний режим, континентальність, вологість ґрунту, кислотність ґрунту, вміст азоту. Порівняльну оцінку місцезростань здійснювали методами одновимірного статистичного аналізу, пошуку логічних закономірностей на основі алгоритму CART і канонічного дискримінантного аналізу.

Конструювання узагальненої типологічної схеми лісової рослинності на основі флористичної класифікації здійснювали шляхом графічної візуалізації результатів канонічного дискримінантного аналізу. Для інтерпретації осей ординації визначали кореляцію координат угруповань з їх екологічними параметрами за екологічними шкалами Г. Елленберга.

Встановлено, що поширення ялинових лісів у межах природного ареалу Українських Карпат, окрім кліматичних показників, великою мірою визначається едафічними факторами. Серед них першочергову роль відіграють показники кислотності ґрунту та вмісту азоту. Основна закономірність екологічної диференціації місцезростань смереки в Українських Карпатах полягає у такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням висоти над рівнем моря зменшуються температура і вміст азоту в ґрунті, зростають кислотність ґрунту, освітленість у ценозі та континентальність. У спрощеному вигляді типологічну схему ялинових лісів можна представити у вигляді трикутника, у центрі якого розташована асоціація *Abieti-Piceetum montanum*, а в кутах *Luzulo luzuloidis-Piceetum*, *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum* і *Cembro-Piceetum*. У тривимірному просторі типологічна схема має вигляд трикутної піраміди, вершиною якої є асоціація *Adenostylo alliariae-Piceetum*.

Ключові слова: Українські Карпати, ялинові ліси, лісова типологія

Skrobala V.M. **Multidimensional typology of spruce forests of the Ukrainian Carpathians**

The analysis of spruce forests habitats of the Ukrainian Carpathians was carried out on the basis of phytoindicative evaluation of the environmental conditions of seventy-five vegetative communities in terms of six parameters: illumination, thermal regime, continentality, soil moisture, soil acidity, nitrogen content.

Typization of spruce forests habitats of the Ukrainian Carpathians was performed by Data Mining methods. The research included three main stages: the study of the structure of the mutual arrangement of phytocoenoses in the multidimensional space of ecological parameters, the mathematical modeling of the structure and the verification of the mathematical model. Each vegetative community can be represented as a point in the six-dimensional space of attributes, whose coordinates correspond to the values of the parameters of ecological regimes. In this case, the similarity of the vegetative communities by the set of environmental parameters can be determined on the basis of the distance between the points. The essence of subsequent mathematical procedure is to allocate ecological space of vegetative associations and estimate the differences between them. A comparative assessment of habitats was carried out using one-dimensional statistical analysis, logical patterns based on the CART algorithm and canonical discriminant analysis. Designing a

generalized typological scheme of forest vegetation based on ecological-floristic classification done by graphic visualization of results of canonical discriminant analysis. For interpretation of the axes of ordination, the correlation of the coordinates of the vegetative communities with their ecological parameters on the H. Ellenberg ecological scales was determined.

The distribution of spruce stands within the natural area of the Ukrainian Carpathians, in addition to climatic indicators, is largely determined by edaphic factors. Among them the primary role is played by indicators of soil acidity and nitrogen content. The main regularity of the ecological differentiation of the habitats of spruce forests in the Ukrainian Carpathians lies in the following structure of interconnections between environmental parameters: with increasing elevation above sea level, the temperature and nitrogen content in the soil decrease, soil acidity, luminosity in the cenosis and continentality increase. In a simplified form, the typological scheme of spruce forests can be represented as a triangle, in the center of which is the association *Abieti-Piceetum montanum*, and in the corners are located *Luzulo luzuloidis-Piceetum*, *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum* and *Cembro-Piceetum*. In a three-dimensional space, the typological scheme has the form of a triangular pyramid, the summit of which is the association *Adenostylo alliariae-Piceetum*.

Key words: Ukrainian Carpathians, spruce forests, forest typology

Похідні насадження *Picea abies* (L.) Karst. займають більше половини площі ялинових насаджень Українських Карпат (Голубець, 1978). Вони виникли внаслідок масового культивування монокультур смереки на місці змішаних смерекових насаджень, а також у смузі бука і ялиці. Реконструкція ялинових монокультур і відновлення високопродуктивних змішаних насаджень стало пріоритетним завданням сучасного лісового господарства в Українських Карпатах у зв'язку із негативним впливом глобального потепління та екстремальних погодних явищ, вітровалами, почастищенням випадків повеней і селевих явищ, масовим пошкодженням лісових насаджень грибними захворюваннями і шкідниками. Проблема відновлення корінного рослинного покриву великою мірою обумовлена також відсутністю надійних знань про механізм формування потенційних фітоценоструктур з едифікаторною роллю *Picea abies*.

Матеріали та методика досліджень

Аналіз місцезростань ялинових насаджень Українських Карпат здійснювали на основі фітоіндикаційної оцінки екологічних умов сімдесяти п'яти угруповань за шістьма параметрами: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – вологість ґрунту, R – кислотність ґрунту,

N – вміст азоту, бали (Ellenberg et al., 1992). Для точнішого відображення екологічних закономірностей висотної диференціації кліматично-едафічних умов в аналіз включені асоціації букових лісів та сосни гірської. Для ідентифікації екологічного простору асоціацій використовували опубліковані в науковій літературі геоботанічні описи (Національний природний парк..., 2004, 2005; Онищенко, Буджак, 2003; Природний заповідник..., 2006).

Типізацію місцезростань ялинових насаджень Українських Карпат виконували методами добування даних (Data Mining) (Дюк, Самойленко, 2001). Дослідження включали три основні етапи: вивчення структури взаємного розташування фітоценозів у багатовимірному просторі екологічних параметрів, математичне моделювання структури та перевірку математичної моделі. Кожне угруповання можна представити у вигляді точки у шестивимірному просторі ознак, координати якої відповідають значенням параметрів екологічних режимів. У цьому випадку подібність угруповань за сукупністю екологічних параметрів можна визначити на основі відстаней між точками. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні екологічного простору асоціацій, оцінці відмінностей між ними.

Порівняльну оцінку місцезростань здійснювали методами одновимірного ста-

тистичного аналізу, пошуку логічних закономірностей на основі алгоритму CART і канонічного дискримінантного аналізу (Дюк, Самойленко, 2001). Конструювання узагальненої типологічної схеми лісової рослинності на основі флористичної класифікації здійснювали шляхом графічної візуалізації результатів канонічного дискримінантного аналізу. Для інтерпретації осей ординації визначали кореляцію координат угруповань з їх екологічними параметрами за екологічними шкалами Г. Елленберга зі співавторами (Ellenberg et al., 1992). Перевірку математичної моделі виконували на основі порівняльної оцінки положення фітоценозів на осях варіювання (багатовимірної ординації) із результатами геоботанічних досліджень та даними літературних джерел (Національний природний парк ..., 2004, 2005; Онищенко, Буджак, 2003; Природний заповідник ..., 2006). Назви синтаксонів подані згідно синтаксономічних схем рослинності регіонів.

Результати досліджень та їх обговорення

Едафічна сітка, яка в класичному вигляді була розроблена для рівнинних лісів, є недостатньо інформативною для екологічної

диференціації гірських лісів. Ялинові ліси формуються в умовах більш однорідного середовища, про що свідчить невеликий діапазон варіювання значень більшості екологічних параметрів за шкалами Г. Елленберга (табл. 1). Фактор вологозабезпеченості ґрунту не відіграє істотної ролі в екологічній диференціації асоціацій смерекових лісів, які часто займають великий екологічний простір (рис. 1). Більшою інформативністю характеризується фактор родючості ґрунту. Так, мінімальні значення вмісту азоту характерні асоціаціям *Cembro-Piceetum*, *Luzulo luzuloidis-Piceetum*, *Luzulo sylvaticae-Piceetum*, а максимальні – *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum*, *Adenostylo alliariae-Piceetum*, *Athyrio alpestre-Piceetum* (рис. 1).

Пошук логічних закономірностей у системі координат екологічних параметрів дозволив встановити такі діагностичні правила для типізації місцезростань смерекових і букових лісів:

Dentario glandulosae-Fagetum: $R > 5,58$;

Cembro-Piceetum: $R \leq 5,58$; $T \leq 3,37$;

Luzulo luzuloidis-Piceetum: $R \leq 5,58$; $T > 4,23$; $R \leq 3,75$;

Vaccinio myrtilli-Pinetum mughi: $R \leq 5,58$; $T \leq 4,23$; $T > 3,37$; $N \leq 2,79$.

Таблиця 1. Екологічні параметри місцезростань ялинових лісів Українських Карпат

Синтаксон	Екологічні параметри, бали					
	L	T	K	F	R	N
1. <i>Luzulo luzuloidis-Piceetum</i>	4,17	4,60	3,84	5,39	2,96	4,12
2. <i>Luzulo sylvaticae-Piceetum</i>	4,26	3,94	3,42	5,57	3,43	4,19
3. <i>Athyrio alpestre-Piceetum</i>	4,64	3,93	3,59	5,89	4,42	5,19
4. <i>Equiseto-Piceetum</i>	4,75	4,25	3,95	5,82	3,93	4,91
5. <i>Abieti-Piceetum montanum</i>	4,25	4,39	3,80	5,53	4,21	4,44
6. <i>Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum</i>	4,00	4,29	3,61	5,62	5,51	5,82
7. <i>Adenostylo alliariae-Piceetum</i>	4,50	3,74	3,09	5,56	4,70	5,74
8. <i>Cembro-Piceetum</i>	4,71	3,09	4,53	5,20	2,69	3,10
Результати екстраполяції:						
9. <i>Vaccinio myrtilli-Pinetum mughi</i>	5,26	3,90	3,81	5,67	3,28	3,70
10. <i>Luzulo nemorosae-Fagetum</i>	4,17	4,60	3,61	5,22	4,22	4,26
11. <i>Calamagrostio villosae-Fagetum</i>	4,60	4,01	3,28	5,75	3,79	4,10
12. <i>Dentario glandulosae-Fagetum</i>	3,68	4,77	3,36	5,55	5,95	5,95
Примітки: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – вологість ґрунту, R – кислотність ґрунту, N – вміст азоту						

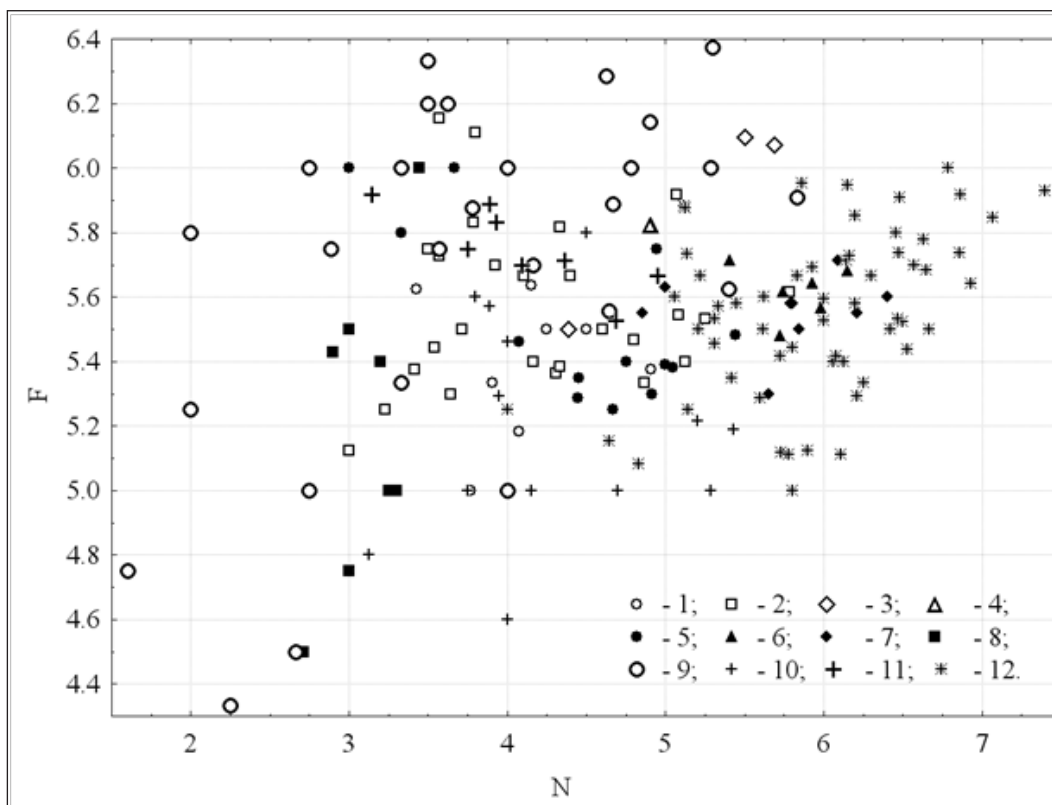


Рис. 1. Екологічний простір ялинових лісів Українських Карпат
 Едафічні чинники: N – вміст азоту, бали; F – вміст вологи, бали; Синтаксони:
 1. *Luzulo luzuloidis-Piceetum*; 2. *Luzulo sylvaticae-Piceetum*; 3. *Athyrio alpestre-Piceetum*;
 4. *Equiseto-Piceetum*; 5. *Abieti-Piceetum montanum*; 6. *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum*;
 7. *Adenostylo alliariae-Piceetum*; 8. *Cembro-Piceetum*; Результати екстраполяції:
 9. *Vaccinio myrtilli-Pinetum mughi*; 10. *Luzulo nemorosae-Fagetum*;
 11. *Calamagrostio villosae-Fagetum*; 12. *Dentario glandulosae-Fagetum*.

Одновимірний статистичний аналіз хоча і дає багато для розуміння екологічних закономірностей формування екотопів ялинових лісів, його слід розглядати як попередній варіант досліджень. Так, на основі пошуку логічних закономірностей не вдалося чітко окреслити межі типів місцезростань асоціацій *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum*, *Calamagrostio villosae-Fagetum*.

Як свідчать результати дисперсійного аналізу (табл. 2), найбільша значущість відмінностей середніх величин властива екологічним параметрам вмісту азоту, кислотності ґрунтів, термічному режиму та освітленості в ценозі. Мінімальне значення критерія Фішера характерне для фактора вологості ґрунту. Таким чином, замість едафічної сітки для диференціації ялинових

лісів доцільно використовувати ординацію фітоценозів у системі координат термічного режиму і кислотності ґрунту.

Аналіз залежності між екологічними параметрами місцезростань вказує на наявність середнього та сильного зв'язку між окремими змінними. Так, для параметрів вмісту азоту і кислотності ґрунту коефіцієнт кореляції $r=0,90$; температурного режиму і кислотності ґрунту $r=0,67$. Таким чином, для багатовимірної ординації смеркових лісів Українських Карпат характерна наявність впорядкованої структури, що дає підстави для математичної процедури зменшення вимірності простору і побудови типологічної схеми.

Дві канонічні функції забезпечують 79,9%, а три канонічні функції – 89,7% загальної дисперсії, тому для багатьох цілей

Таблиця 2. Результати дисперсійного аналізу

Екологічний параметр, бали	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
L	53.41	11	4.86	28.43	172	0.17	29.38	0.0000
T	38.47	11	3.50	18.41	172	0.11	32.67	0.0000
K	16.46	11	1.50	18.44	172	0.11	13.96	0.0000
F	3.99	11	0.36	18.72	172	0.11	3.33	0.0004
R	252.18	11	22.93	88.29	172	0.51	44.66	0.0000
N	173.12	11	15.74	92.66	172	0.54	29.21	0.0000

Примітки: SS Effect і SS Error – міжгрупова і внутрішньогрупова суми квадратів; df – ступінь свободи; MS Effect і MS Error – середній квадрат відхилень для міжгрупової і внутрішньогрупової змінюваності відповідно; F – критерій Фішера; p – рівень достовірності. Екологічні параметри: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – вологість ґрунту, R – кислотність ґрунту, N – вміст азоту

аналізу достатньо використовувати дво- або тривимірну проекцію початкової матриці даних (шестивимірного простору).

Перша вісь типологічної схеми (рис. 2) пояснює 65,0% загальної дисперсії. Вона відображає закономірності вертикальної поясності Українських Карпат і характеризує таку структуру взаємозв'язків між екологічними чинниками: із зменшенням показників термічного режиму ($r=-0,80$) зростає континентальність клімату ($r=0,45$) і освітленість в ценозі ($r=0,82$), зменшується рН ґрунту ($r=-0,90$) і вміст азоту ($r=-0,82$). Мінімальні значення функції $Root_1$ властиві асоціаціям *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum*, *Abieti-Piceetum montanum* та фітоценозам букових лісів *Den-*

tario glandulosae-Fagetum і *Luzulo nemorosae-Fagetum*. Максимальними значеннями функції $Root_1$ характеризуються асоціації верхнього лісового та субальпійського поясів на бідних і кислих ґрунтах: *Cembro-Piceetum*, *Vaccinio myrtilli-Pinetum mughii*.

Асоціація *Abieti-Piceetum montanum* (синонім *Galio rotundifolii-Piceetum*) включає угруповання, які поширені на невеликих висотах (600-1000 м над рівнем моря) (Онищенко, Буджак, 2003). Деревостани сформовані смерекою і ялицею, часто значною є участь бука. У той же час асоціація *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum* – це високогірні карпатські ялинові ліси на багатих ґрунтах, де поширення бука лімітується кліматичними умовами (Онищенко,

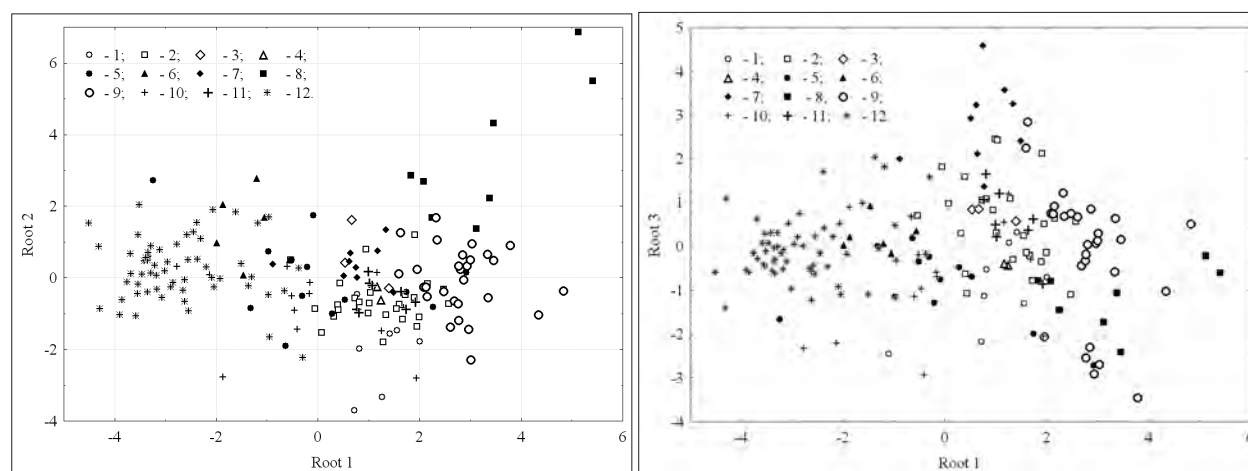


Рис. 2. Типологічна схема ялинових лісів Українських Карпат

Умовні позначення: $Root_1$ – осі типологічної схеми; числова нумерація синтаксонів відповідає рис. 1 і табл. 1.

Буджак, 2003). Як видно із наведених результатів, низька кислотність ґрунту і високий вміст азоту виступають аналогом збільшення параметрів термічного режиму. Угруповання асоціації *Cembro-Piceetum* ростуть на верхній межі лісу. Її склад формують сира оліготрофна брусницево-сфагнова та волога оліготрофна чорницево-мохова кедрові смеччини. Асоціація *Vaccinio myrtilli-Pinetum mughi* (субальпійські степлюхи сосни гірської) трапляється від верхньої межі лісу до 1800 м над рівнем моря.

Друга вісь додатково пояснює 14,9% загальної дисперсії даних. Її значення відображають аналогічний зв'язок з температурним режимом та континентальністю при відсутності кореляції з едафічними факторами. Функція $Root_2$ відображає можливість існування екотопів з родючими ґрунтами у верхньому лісовому поясі та бідних і кислих едафотопів на нижчих висотних рівнях. Мінімальними значеннями функції $Root_2$ характеризуються асоціації *Luzulo luzuloidis-Piceetum*, *Luzulo nemorosae-Fagetum*, *Luzulo sylvaticae-Piceetum*, а максимальними – *Cembro-Piceetum* і *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum*.

Наявні дані не дозволили чітко окреслити екологічний простір ацидофільних асоціацій букових лісів *Luzulo nemorosae-Fagetum* і *Calamagrostio villosae-Fagetum* порівняно з асоціацією *Luzulo sylvaticae-Piceetum*. За сукупністю екологічних параметрів значна частина угруповань асоціації *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum* тяжіє до асоціації *Dentario glandulosae-Fagetum*.

Неоднозначною є також ситуація відносно асоціації змішаних лісів *Abieti-Piceetum montanum*. За розташуванням у багатомірному просторі екологічних факторів частину угруповань *Abieti-Piceetum montanum* можна віднести до ацидофільних бучин *Luzulo nemorosae-Fagetum* і навіть до *Dentario glandulosae-Fagetum*. Причина полягає у авторській інтерпретації обсягу асоціацій та недостатній кількості наявного матеріалу для уточнення меж екологічного простору ялинових і букових лісів.

Висновки

Поширення смерекових насаджень у межах природного ареалу Українських Карпат окрім кліматичних показників великою мірою визначається едафічними факторами. Серед них першочергову роль відіграють показники кислотності ґрунту та вмісту азоту. Основна закономірність екологічної диференціації місцезростань смереки в Українських Карпатах полягає у такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням висоти над рівнем моря зменшуються температура і вміст азоту в ґрунті, зростають кислотність ґрунту, освітленість у ценозі та континентальність. У спрощеному вигляді типологічну схему ялинових лісів можна представити у вигляді трикутника, у центрі якого розташована асоціація *Abieti-Piceetum montanum*, а в кутах *Luzulo luzuloidis-Piceetum*, *Chrysanthemo rotundifolii-Piceetum* і *Cembro-Piceetum*. У тривимірному просторі типологічна схема має вигляд трикутної піраміди, вершиною якої є асоціація *Adenostylo alliariae-Piceetum*.

- Голубець М.А. Ельники Украинских Карпат / М.А. Голубець. – К.: Наук. думка, 1978. – 264 с.
- Дюк В. Data Mining: учебный курс. / В. Дюк В., А. Самойленко. – СПб: Питер, 2001. – 368 с.
- Національний природний парк "Вижницький". Рослинний світ / [Чорней І.І., Буджак В.В., Якушенко Д.М. та ін.]. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 248 с.
- Національний природний парк "Сколівські Бескиди". Рослинний світ / [Соломаха В.А., Якушенко Д.М., Крамарець В.О. та ін.]. – К.: Фітосоціоцентр, 2004. – 240 с.
- Онищенко В.А. Ліси класу *Vaccinio-Piceetea Br.-Bl.* / В.А. Онищенко, В.В. Буджак // Рослинність хвойних лісів України. – К.: Фітосоціоцентр, 2003. – С. 131–145.
- Природний заповідник "Горгани". Рослинний світ / [Клімук Ю.В., Міскевич У.Д., Якушенко Д.М. та ін.]. – К.: Фітосоціоцентр, 2006. – 400 с.
- Ellenberg H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / H. Ellenberg, H.E. Weber, R. Dull et al. // Scripta geobot. 1992. Vol.18. – 258 s.