

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БОТАНІКИ ІМ. М.Г. ХОЛОДНОГО НАН УКРАЇНИ



Гончаренко Ігор Вікторович

УДК: 581.9 : 581.524 + 58.087

**КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОМАНІТНОСТІ,
СТРУКТУРИ І АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ
РОСЛИННОСТІ**

03.00.05 - ботаніка

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора біологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Державній установі "Інститут еволюційної екології НАН України"

Науковий консультант

доктор біологічних наук, професор
Соломаха Володимир Андрійович
Інститут агроєкології та природокористування НААН України
провідний науковий співробітник

Офіційні опоненти

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
Онищенко Віктор Алімович
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
провідний науковий співробітник

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
Булах Петро Євгенович
Національний ботанічний сад М.М. Гришка НАН України
старший науковий співробітник

доктор біологічних наук, доцент
Панченко Сергій Михайлович
Гетьманський національний природний парк Міністерства
захисту довкілля і природних ресурсів України
начальник науково-дослідного відділу

Захист дисертації відбудеться "26" квітня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.211.01 Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України за адресою: 01024, Україна, м. Київ, вул. Терещенківська, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України за адресою: 01025, м. Київ, вул. Велика Житомирська, 28.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук



С.О. Нипорко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах комп'ютеризації усіх напрямків фітоценології важливим завданням є аналіз існуючих і пошук нових підходів до обробки геоботанічних даних. Такий пошук перспективний, зокрема, серед сучасних статистичних методів, враховуючи їх доказову базу і наявність готових комп'ютерних програм. Але вони потребують апробації на фітоценотичних даних з різними показниками флористичного і ценотичного різноманіття, різних типів рослинності, різних регіонів і т.п. Подібні дослідження знаходяться на межі геоботаніки, статистики і комп'ютерних технологій.

Якщо у 80-х роках минулого сторіччя головним обмежуючим фактором при обробці даних була потужність комп'ютерів, то нині особливий акцент стоїть на правильності вибору тих чи інших методів. Враховуючи значне зростання обсягів фітоценотичних даних, важливими критеріями розробки нових і застосування традиційних методів є вимоги до інтенсивності і швидкості обчислень, структурованого накопичення даних, обробки значних масивів описів і т.п.

З одного боку, спостерігається зростання потужності статистичних і комп'ютерних методів, які відкривають нові можливості для обробки даних, що є традиційно-складними у фітоценології (екотонні угруповання, антропогенна рослинність і т.д.). З іншого боку, новітні методи потребують апробації на фітоценотичних даних з різними характеристиками. Тому важливим напрямком досліджень у фітоценології є комплексна оцінка сучасних методів обробки фітоценотичних даних, їх порівняльний аналіз і апробація на даних різних типів рослинності, регіонів і т.д.

Дисертаційне дослідження присвячене порівняльному аналізу і апробації нових кількісних методів, що застосовуються на різних етапах обробки фітоценотичних даних – у класифікації, ординації, фітоіндикації та для оцінки ступеня антропогенної трансформації рослинності. Робота структурно складається з двох частин – основної теоретико-методичної частини (розділи 1–7) і фітоценотичної, що є результатом апробації методів на різних даних у першій частині (розділи 8–11).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися в рамках наукових тематик Інституту еволюційної екології НАНУ "Охорона, збереження та відновлення ландшафтного та біологічного різноманіття урбанізованих територій" (номер держреєстрації 0110U005299), "Наукові основи біоіндикації рівня антропогенної трансформації територій за популяційними показниками фонових видів" (номер держреєстрації 0112U002615), "Структурно-функціональні показники змін біологічних систем, як основа ведення моніторингу" (номер держреєстрації 0117U004318), "Вивчення процесів екологічної демутації посттехногенних ландшафтів промислових майданчиків з метою оптимізації ремедіації і рекультивації сучасних девастрованих територій" (номер 0109U002347), "Структурно-функціональні аспекти таксономічного і ценотичного біорізноманіття за різних екологічних умов" (номер держреєстрації 0117U004319).

Мета і завдання досліджень. Мета роботи – провести порівняльний аналіз існуючих і апробацію нових кількісних методів, індексів та підходів дослідження різноманіття, структури і антропогенної трансформації рослинності.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. провести порівняльний аналіз методів автоматичної класифікації фітоценотичних матриць;
2. оцінити перспективність у класифікації рослинності методів кластеризації з відділенням шуму (noise clustering), у тому числі нового методу DRSA, Distance-Ranked Sorting Assembling;
3. проаналізувати індекси вірності, що використовуються для класифікації діагностичних видів на статистичній основі;
4. проаналізувати підходи щодо оцінки якості фітоценотичної класифікації;
5. провести порівняльний аналіз статистичних методів, що застосовуються для аналізу даних фітоіндикації;
6. проаналізувати кількісні методи оцінки ступеня антропогенної трансформації рослинності;
7. оцінити перспективність методики фітосоціологічного спектру для аналізу синтаксономічної диференціації.

Об'єктами дослідження (і моделями для апробації різних методів) є ксеромезофітні дубові ліси помірної зони Європи, лучна рослинність заплави Сейму та Дніпра, лісова рослинність м. Київ та околиць.

Вибір модельних даних був продиктований задачами, поставленими для дослідження тієї чи іншої групи методів.

Предмет дослідження – кількісні методи обробки фітоценотичних даних, що застосовуються у класифікації, ординації, фітоіндикації та для оцінки антропогенної трансформації рослинності.

Методи дослідження: геоботанічні (виконання геоботанічних описів, класифікація рослинності, фітоіндикаційний та ординаційний підходи) і статистичні методи (кластерний аналіз, дерева класифікації, дисперсійний аналіз, кореляційний і регресійний аналіз).

Базисом для дослідження є п'ять модельних наборів даних:

- *набір даних 1, НД1* (316 описів, лучна рослинність, заплава Дніпра у межах Лісостепу) (Сенчило та ін. 1997; Соломаха та ін. 1997; Сенчило та ін. 1999; Сенчило, Гончаренко 2008; Сенчило 2009; Goncharenko, Senchylo 2020);
- *набір даних 2, НД2* (832 описи, лісова рослинність, м. Київ та околиць) (Гончаренко, Голик 2014; Гончаренко, Голик 2015; Голик, Гончаренко 2017; Goncharenko, Yatsenko 2020);
- *набір даних 3, НД3* (123 описи, лісова рослинність, Київське Полісся і Лівобережний Лісостеп) (Goncharenko, Kovalenko 2019);
- *набір даних 4, НД4* (721 опис, лучна рослинність, заплави Сейму та Дніпра у межах Лівобережного Полісся) (Козир 2008; Козир та ін. 2008; Куземко, Козир 2011; Козир та ін. 2017; Goncharenko, Kozyr, Senchylo 2020);
- *набір даних 5, НД5* (45 синтаксонів, ксеромезофітні дубові ліси помірної зони Європи, від Центральної Європи до Південного Уралу) (Libbert 1933; Zólyomi 1957; Байрак 1996; Соломаха та ін. 1996; Шевчик та ін. 1996; Любченко та ін. 1997; Chytrý, Horák 1997; Морозова 1999; Jakubowska-Gabara 2000; Булохов, Соломещ 2003; Гончаренко 2003; Мартыненко и др. 2005; Roleček 2005; Ciosek 2006; Онищенко та ін. 2007; Мартыненко и др. 2008; Семенищенков

2009; Миркин и др. 2010; Kasprówicz 2010; Назаренко, Куземко 2011; Соколова 2011; Indreica 2011; Кузьменко 2012; Семенищенков 2012; Гайова, Коротченко 2013; Панченко 2013; Семенищенков, Полуянов 2014; Воробйов та ін. 2017; Brzeg, Wika 2017; Goncharenko et al. 2020).

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- розроблено новий метод класифікації рослинності DRSA, який має переваги у порівнянні з традиційними методами у випадку класифікації рослинності із значною часткою перехідних описів;
- проведено оцінку подібності класифікацій діагностичних видів за різними індексами вірності та у залежності від значень проективного покриття видів;
- проаналізовано умови застосування вирівняно-групових індексів вірності і їх вплив на розподіл діагностичних видів між фітоценотичними кластерами різних розмірів;
- запропоновано новий підхід до визначення оптимальної кількості кластерів (фітоценонів) на основі збалансованого критерію з урахуванням геометричних (дистанційних) і флористичних індексів;
- розроблено методику аналізу екологічної диференціації рослинності на основі дерев класифікації (CART) і даних фітоіндикації;
- запропоновано новий підхід "аналізу відхилень" для оцінки ступеня диференціації амплітуд синтаксонів на основі стандартизованих відхилень фітоіндикаційних показників;
- проведено аналіз екологічних шкал гемеробії, урбанітету та природності з точки зору їх застосування для оцінки антропогенного фактору на основі методики фітоіндикації;
- запропоновано підхід до оцінки ступеня антропогенної трансформації рослинності на основі нормованих співвідношень життєвих форм К. Раункієра (геофіти / терофіти) і екологічних стратегій Дж. Грайма (конкуренти / рудерали, стрес-толеранти / рудерали);
- проведено аналіз методики фітосоціологічного спектру для дослідження синтаксономічної диференціації;
- здійснено синтаксономічну ревізію ксеромезофітних дубових лісів (КДЛ) помірної зони Європи з використанням кількісних методів і описано два нові для науки східноєвропейські союзи – *Betonico officinalis-Quercion roboris* та *Scutellario altissimae-Quercion roboris*;
- проведено порівняльно-географічний аналіз синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів і встановлені регіональні диференційні види центрально-, східноєвропейської та південно-уральської групи синтаксонів КДЛ;
- запропоновано методику оцінки впливу кліматичних факторів на диференціацію рослинності на основі прямої ординації з використанням біокліматичних показників (Wordclim/Bioclim) і встановлені провідні кліматичні чинники диференціації синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів.

Наукове і практичне значення роботи. Матеріали дослідження є внеском у теорію і методологію аналізу рослинності. Нові запропоновані підходи і методи, у

т.ч. метод класифікації DRSA, аналіз відхилень, збалансований критерій визначення кількості кластерів у даних та ін., мають першочергове значення у тих випадках, коли використання традиційних методів є обмеженим – класифікація рослинності екотонів (узлісся, лучні степи, ксеромезофітні дубові ліси), антропогенної рослинності, масивів описів, виконаних на трансектах і т.д. Запропоновані методи аналізу екологічної диференціації рослинності, зокрема дерева класифікації синтаксонів на основі їх фітоіндикаційних показників, аналіз відхилень і т.д., значно доповнюють методичку фітоіндикації. Запропоновані індекси і підходи до оцінки антропогенної трансформації можуть бути використані для моніторингу і дослідження антропогенних сукцесій рослинності, у т.ч. на території об'єктів ПЗФ. Одержані у результаті апробації різних методів дані щодо різноманіття і структури рослинності модельних об'єктів (лучна рослинність заплав Сейму та Дніпра, лісова рослинність м. Київ та околиць, ксеромезофітні дубові ліси помірної зони Європи) можуть бути використані при підготовці монографій і нового видання продромусу рослинності України. Результати роботи використовуються у навчальному процесі Сумського державного педагогічного університету, а також мають значення для професійної діяльності геоботаніків і для фахівців суміжних наук, насамперед кількісної екології та біоінформатики.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійним завершеним дослідженням. Здобувачем особисто сформульовано напрямок, методико-теоретичні основи роботи, розроблено схеми обчислювальних експериментів, проаналізовані одержані результати та сформульовані висновки. На метод кластерного аналізу DRSA автором отримане свідоцтво № 58837 від 26.02.2015 Державної служби інтелектуальної власності України. Усі кількісні аналізи, їх інтерпретація і написання програмного коду та скриптів у середовищі R і т.д. проведені здобувачем. При публікації результатів у співавторстві, здобувач є повноправним членом авторського колективу. Права співавторів у публікаціях не порушені.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали та результати дисертації апробовані на 17 конференціях, робочих нарадах, науково-практичних семінарах. Зокрема, робочих нарадах "Рослинність хвойних лісів України" (Київ, 2003), "Класифікація рослинності та біотопів України як наукова основа збереження біорізноманіття" (Київ, 2016); XIV з'їзді Українського ботанічного товариства (Київ, 2017); всеукраїнських науково-практичних конференціях "Сучасні проблеми екології" (Запоріжжя, 2005), "Наукова спадщина академіка М.М. Гришка" (Глухів, 2005); конференціях молодих вчених-ботаніків "Актуальні проблеми флористики, систематики, екології та збереження фіторізноманіття" (Львів, 2002), "Актуальні проблеми дослідження та збереження фіторізноманіття" (Умань, 2005), "Актуальні проблеми ботаніки та екології" (Київ, 2007; Кременець, 2009); "Наукові основи збереження біотичної різноманітності" (Львів, 2009); міжнародних наукових і науково-практичних конференціях "Ю.Д. Клеопов та сучасна ботанічна наука" (Київ, 2002), "Проблеми сучасної екології" (Запоріжжя, 2002), "Сучасні проблеми біології, екології та хімії" (Запоріжжя, 2007), "V ботанічні читання пам'яті Й.К. Пачоського" (Херсон, 2009), "Биоразнообразие и устойчивое развитие" (Симферополь, 2014), "Natural sciences: History, the present time, the future" (Wrocław, Poland, 2019), "Класифікація рослинності та біотопів України" (Київ, 2020).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 58 наукових праць, у тому числі 2 монографії, 6 статей у закордонних виданнях, проіндексованих у базах Web of Science та Scopus, 2 статті у наукових виданнях інших держав із напрямку, з якого підготовлено дисертацію, 26 статей у фахових виданнях України; 4 статті у інших періодичних виданнях, 16 статей та тез у матеріалах конференцій; одержане 1 авторське свідоцтво.

Структура та обсяг роботи. Матеріали роботи викладено на 422 сторінках, з яких основний текст роботи займає 287 сторінок. Дисертація складається з вступу, 11 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Основна частина містить 41 рисунок та 70 таблиць, додатки – 12 таблиць. У роботі цитується 434 літературних джерела, з них 215 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ РОСЛИННОСТІ НА ОСНОВІ ГРАФУ К-НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ: МЕТОД DRSA

У результаті апробації різних методів класифікації рослинності був розроблений новий метод DRSA, Distance-Ranked Sorting Assembling (Гончаренко 2015, Гончаренко 2016). Основним його призначенням є об'єктивізація процесу бракування перехідних описів, за рахунок чого підвищуються показники відмежованості синтаксонів і кількості діагностичних видів. Бракування – це частина методики Браун-Бланке, яка найчастіше застосовується у випадках класифікації даних із значною часткою перехідних описів. Але цей процес здійснюється на розсуд геоботаніка, тобто до певної міри суб'єктивно.

Метод DRSA має наступні відмінності від інших методів, що традиційно використовуються у класифікації рослинності: 1) використання рангів відстаней між об'єктами; 2) групування на основі графу k-найближчих сусідів; 3) визначення і виключення перехідних об'єктів (описів), т.з. кластеризація з відділенням шуму, "noise clustering", або у термінах геоботаніки – "бракування".

Алгоритм методу DRSA. Групування здійснюється на основі графу k-найближчих сусідів і включає етапи ініціалізації, росту і фіналізації кластерів, які контролюються системою індексів (Гончаренко 2015):

- *FI (freeness index)* – індекс вільності визначається кількістю вільних (некласифікованих) об'єктів серед k-найближчих сусідів об'єкту X.
 - *CI (connectedness index)* – індекс зв'язності визначається часткою об'єктів найближчого кластеру серед k-найближчих сусідів об'єкту X.
 - *Q-index* (індекс повноти) є показником, що характеризує завершеність кластеру у структурі графу k-найближчих сусідів і визначає етап фіналізації кластерів.
- Алгоритм DRSA (Гончаренко 2015) включає наступні цикли:
1. *утворення кластерів:*
 - a. доки є об'єкти з $FI > 0$, вибрати вільний об'єкт з максимальним значенням FI і утворити кластер, перейти до п. 2;
 - b. інакше – вихід, некласифіковані об'єкти помістити у шумовий кластер.
 2. *приєднання об'єктів до кластерів:*
 - a. доки є об'єкти з $CI > 0$, вибрати вільний об'єкт з максимальним значенням CI і приєднати його до найближчого кластеру, перейти до п. 3;

- b. інакше – перейти до п. 1;
- 3. оцінка повноти кластерів:
 - a. розрахувати Q-index після приєднання, якщо збільшився – перейти до п. 2;
 - b. інакше – перейти до п. 1.

Метод DRSA був апробований на модельних фітоценотичних даних (Гончаренко & Голик 2015, Голик & Гончаренко 2017, Goncharenko & Kovalenko 2019, Goncharenko & Yatsenko 2020). Переваги від застосування методу DRSA у порівнянні з традиційними є найбільш чіткими у випадках класифікації масивів описів, де потрібен певний відсоток "бракування" описів перехідного характеру. Результатом застосування методу DRSA у таких випадках буде: 1) збільшення відмежованості (чіткості) фітоценотичних кластерів; 2) підвищення їх стабільності; 3) збільшення загальної кількості діагностичних видів у синтаксонів.

Розділ 2. КІЛЬКІСНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ВІРНОСТІ ВИДІВ У КЛАСИФІКАЦІЇ РОСЛИННОСТІ

Одним із важливих аспектів у класифікації рослинності є застосування статистичного підходу для виділення і сортування діагностичних видів на основі індексів (коефіцієнтів) вірності (Bruehlheide 2000; Chytrý et al. 2002; Willner et al. 2006).

У порівняльному аналізі ми використовували 11 найбільш вживаних індексів вірності, причому кореговані (вирівняно-групові, group-equalized) і некореговані (non-equalized) індекси аналізувалися окремо.

Перелік проаналізованих індексів наступний: *phi* – phi-coefficient (Chytrý et al. 2002), *phi.g* – phi-coefficient group-equalized (Tichý & Chytrý 2006), *indval* – Dufrene-Legendre Indicator Value Index, IndVal (Dufrene & Legendre 1997), *indval.g* – IndVal group-equalized (Tichý & Chytrý 2006), *cos* – Ochiai index, cosine coefficient (De Cáceres et al. 2008), *cos.g* – Ochiai index group-equalised (Tichý & Chytrý 2006), *chi* – chi-square statistic with Yates correction (Chytrý et al. 2002), *u.hyp* – Bruehlheide's corrected u value (Bruehlheide 2000), *Fisher* – Fisher exact test statistics (Chytrý et al. 2002), *g* – G-statistic (Chytrý et al. 2002), *TCR* – Total cover ratio (Willner et al. 2009).

Усі розрахунки здійснювалися при незмінній класифікації описів на прикладі модельних наборів НД1 та НД2. Для обчислень використовувалися пакети і функції для статистичного середовища R (<https://cran.r-project.org>), зокрема *vegan* (Oksanen et al. 2018), *labdsv* (Roberts 2016), *indicspecies* (De Cáceres & Jansen 2020).

Оцінка подібності класифікацій діагностичних видів за різними індексами вірності. Для кожного виду визначали "оптимальний" кластер, у якому вид досягає найвищого значення вірності. Для оцінки впливу на подібність класифікацій діагностичних видів проєктивного покриття аналіз повторювався із варіюванням показника ступеневої трансформації значень проєктивного покриття видів від 0 (наявність/відсутність виду) до 1 (проєктивне покриття без трансформації) (рис. 1).

Встановлено, що індекси вірності дають подібні класифікації у випадку застосування їх до бінарних даних (присутність/відсутність) видів, а із збільшенням показника ступеневої трансформації значень проєктивного покриття розбіжності класифікацій видів за різними індексами зростають. За ступенем подібності класифікацій діагностичних видів індекси поділяються на дві основні групи – коефіцієнти асоціації (*phi*, *indval*, *cos*) і індекси засновані на χ^2 -квадрат (*g*, *chi* та ін.).

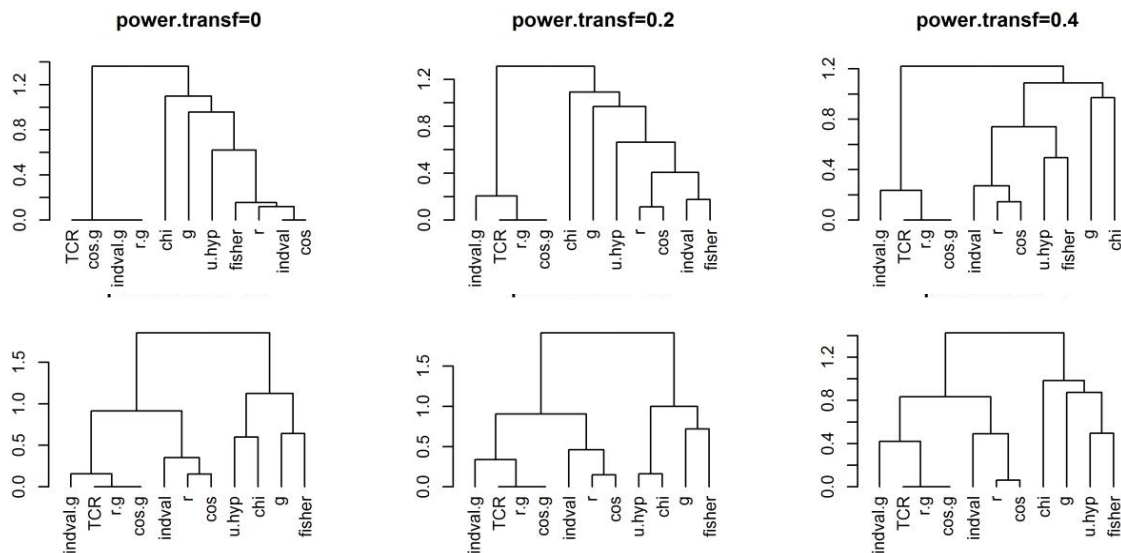


Рис. 1. Кластерний аналіз індексів вірності за ступенем подібності класифікацій діагностичних видів на прикладі набору даних НД1

На рис. 1 також видно, що вирівняно-групові індекси становлять відокремлену групу, оскільки продукують класифікації діагностичних видів подібніші усередині групи (phi.g, indval.g, cos.g), аніж з їх некорегованими (phi, indval, cos) аналогами.

Вплив вирівняно-групових індексів на розподіл діагностичних видів між фітоценотичними кластерами. На рис. 2 показано розподіли і медіанний розмір фітоценотичних кластерів (синтаксонів), у яких зосереджено основну частину діагностичних видів у разі використання корегованої і некорегованої версії індексу phi (Chytrý et al. 2002; Tichý & Chytrý 2006).

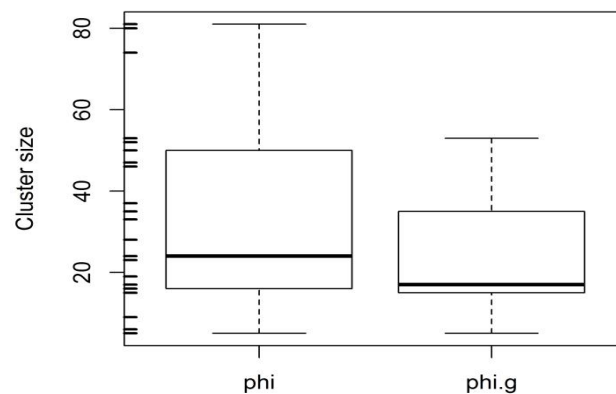


Рис. 2. Розподіли кількості описів фітоценотичних кластерів, у яких досягаються максимальні значення вірності видів з використанням корегованої і некорегованої версії індексу phi на прикладі набору даних НД2

На графіку видно, що медіана для корегованої версії розташовується нижче. Це означає, що застосування вирівняно-групових індексів не тільки впливає на загальний перелік (класифікацію) діагностичних видів, а й призводить до відносного збагачення діагностичними видами фітоценотичних кластерів з меншою кількістю описів і навпаки. Це було підтверджено також у випадках інших вирівняно-групових індексів (indval.g і cos.g). Отже, застосування вирівняно-групових індексів вірності не є доцільним у випадках, коли малі кластери виникають як наслідок дрібного (неоптимального) поділу (класифікації), оскільки це призведе до потрапляння у діагностичні більшої кількості випадкових видів.

Розділ 3. ОЦІНКА ЯКОСТІ ФІТОЦЕНОТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Для одного масиву описів завжди можна отримати значну кількість альтернативних класифікацій. Тому одним із важливих аспектів у класифікації рослинності є оцінка якості (валідація) поділу. Підхід Optimclass, запропонований чеськими фітоценологами (Tichý et al. 2010), є лише одним з можливих. Дискусійність традиційних підходів стає очевидною у випадках нечіткої кластерної структури фітоценотичних даних. Як правило, це дані, у яких середня подібність описів висока. Чим менш чіткими є фітоценотичні кластери (синтаксони), тим більша розбіжність максимумів у різних індексів якості поділу. У таких випадках оцінка за одним індексом не може бути ґрунтовною.

Оцінка якості кластерного поділу за збалансованим критерієм. Нами запропоновано методику оцінки якості поділу і кількості кластерів (синтаксонів) у даних за збалансованим (комбінованим) критерієм. Принцип такої оцінки полягає у врахуванні значної кількості різних індексів валідації поділу і розрахунку їх середнього значення після стандартизації кожного показника. Рішення про кількість фітоценотичних кластерів приймається за максимізацією середнього стандартизованих оцінок багатьох індексів. Це дозволяє подолати проблему розбіжності максимумів у різних індексів, оскільки надійність загальної оцінки підвищується у порівнянні із застосуванням одного показника (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахунок комбінованого (збалансованого) критерію якості (валідації) кластерного поділу (колонка *comb*) на прикладі набору даних НД2

Кількість кластерів	silh	ch	g3	pgam	dunn	wb.ratio	disdiam	partana	<i>comb</i>
2	2.14	3.44	-1.78	-0.33	1.88	-2.64	-1.54	-2.99	-0.23
3	3.08	2.33	0.88	2.06	2.11	-1.49	-1.54	-0.15	0.91
4	3.00	1.47	1.99	2.54	2.76	-1.20	-1.54	0.51	1.19
5	-0.27	1.09	-1.56	0.37	0.74	-1.67	-1.23	-2.01	-0.57
6	0.10	0.80	-1.58	0.23	0.53	-1.50	-0.96	-1.88	-0.53
7	0.08	0.53	-1.38	0.32	0.65	-1.31	-0.86	-1.61	-0.45

Позначення: silh – Silhouette statistics (Rousseeuw 1987), ch – Calinski-Harabasz index (Caliński & Harabasz 1974), g3 – G3-коефіцієнт (Gordon 1999), pgam – pearsongamma (Halkidi et al. 2001), dunn – Dunn index (Dunn 1973), wb.ratio – within/between ratio (Roberts 2020), disdiam і partana indexes (Roberts 2020)

Незважаючи на розбіжності максимумів за окремими індексами, оцінка за збалансованим критерієм вказує на оптимальну кількість кластерів – 4 (табл. 1, колонка "*comb*"). З методичної точки зору для збалансованого критерію важливо враховувати значну кількість некорелюючих один з одним індексів. Але не варто поєднувати індекси різних груп, наприклад геометричні (дистанційні) та флористичні, оскільки їх максимуми, як правило, не співпадають. Максимальна геометрична відмежованість синтаксонів спостерігається при меншій кількості фітоценотичних кластерів (крупніших поділах), тоді як флористичні індекси максимізуються при детальніших поділах. Тому оцінку якості поділу на основі геометричних та флористичних критеріїв слід проводити окремо, бо вони мають

самостійну діагностичну цінність у відношенні виявлення кластерної структури даних на різних рівнях синтаксономічної ієрархії.

Порівняльний аналіз методів класифікації рослинності на основі флористичних критеріїв. Для порівняння було вибрано 6 різних за принципами групування методів, що застосовуються у класифікації рослинності, а також запропонований нами метод DRSA (розділ 1). За кожним методом було здійснено послідовні поділи (серію класифікацій) із зростаючим показником кількості фітоценотичних кластерів від 2 до 30. На рис. 3 показано профілі значень кількості діагностичних видів (рис. 3, зліва) та кількості кластерів з діагностичними видами (рис. 3, справа) згідно Optimclass підходу (Tichý et al. 2010).

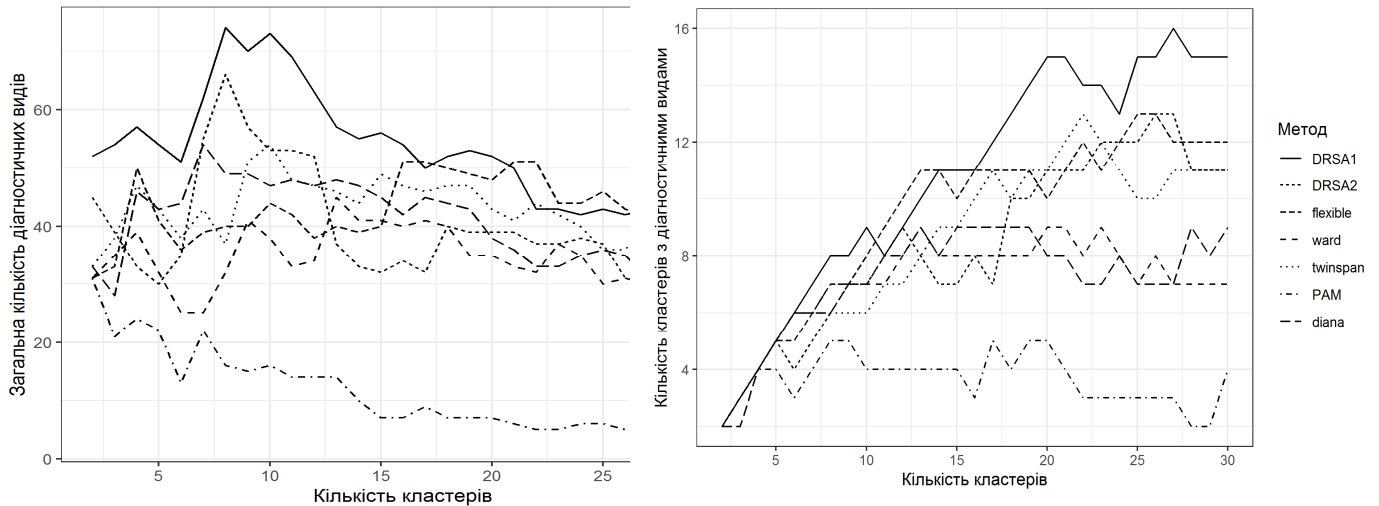


Рис. 3. Профілі значень флористичних критеріїв якості поділу згідно Optimclass підходу для 6 різних методів класифікації на прикладі набору даних НД2

Високі показники якості поділу були одержані у методів групування на основі алгоритмів Варда (Ward, 1963), гнучкої бети (Lance, Williams, 1966) та методу DRSA (розділ 1). Перші два методи часто використовуються у класифікації рослинності. Що стосується методу DRSA, то його крива розташовується вище за інші (рис. 3). Це досягається за рахунок оптимізації процедури бракування перехідних описів, у результаті чого відмежованість (чіткість) фітоценотичних кластерів і показники методики Optimclass зростають.

Розділ 4. ФІТОІНДИКАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ СИНТАКСОНОМІЧНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ

Методика фітоіндикації часто використовується у геоботанічних та екологічних дослідженнях (Раменський 1938; Дідух, Плюта 1994; Didukh 2011). Для аналізу диференціації амплітуд синтаксонів традиційно порівнюють середні бали фітоіндикаційних показників, одержані для описів різних синтаксонів.

Аналіз відхилень. Нами було запропоновано удосконалений підхід, що одержав назву "аналіз відхилень", у якому оцінка здійснюється на основі стандартизованих відхилень фітоіндикаційних показників:

$$r.diff = \frac{(\text{compared value} - \text{reference value})}{\text{reference value}} \quad (1)$$

де $r.diff$ – відносне відхилення (relative difference) за певним екофактором, $compared\ value$ – середнє значення екофактору для описів певного синтаксону,

reference value – середнє фітоіндикаційних оцінок усіх описів без урахування поділу на синтаксони.

Такий підхід забезпечує порівнюваність оцінок між факторами з різною кількістю балів у шкалах, а також доповнює методику фітоіндикації можливістю розрахунку інших показників. У табл. 2 наведені значення відхилень фітоіндикаційних показників, розраховані для синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ. Сума квадратів відхилень (sumsq) у кожного фактору (по вертикалі) вказує на ступінь диференціації синтаксонів за тим чи іншим показником і дозволяє ранжувати екологічні фактори у відношенні їх впливу на синтаксономічну диференціацію. Сума квадратів відхилень у кожного синтаксону (по горизонталі) є мірою його екологічної спеціалізації і характеризує положення оптимуму синтаксону у периферичній частині чи у центрі градієнтів. А за рахунок відхилень, що є стандартизованими, візуальний аналіз діаграм (позначені сірим кольором) є зручним і інформативним.

Таблиця 2

Профілі відхилень 9 екологічних факторів за даними фітоіндикаційної оцінки синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ

синтаксон	Hd	Rc	Tr	Nt	Lc	fH	Nv	Tm	Kn	sumsq	ranks
1	-0.02	0.00	-0.01	-0.06	0.04	0.03	-0.02	0.00	-0.04	0.008	4
2	-0.03	0.03	0.05	0.00	0.04	0.01	0.02	0.00	0.03	0.008	5
3	0.04	-0.07	-0.02	0.02	-0.01	-0.02	-0.06	0.02	-0.02	0.012	3
4	0.06	0.02	-0.05	0.11	-0.14	-0.04	0.05	0.00	-0.03	0.043	1
5	-0.01	-0.04	-0.04	-0.08	0.02	0.00	0.00	-0.04	0.03	0.013	2
sumsq	0.006	0.009	0.008	0.023	0.022	0.003	0.006	0.002	0.005		
ranks	5	3	4	1	2	8	6	9	7		

Позначення синтаксонів (Goncharenko, Kovalenko 2019): 1 – *Digitali grandiflorae-Quercetum roboris*, 2, 3 – *Carici praecocis-Quercetum roboris typicum* і var. *Agrostis vinealis*, 4, 5 – *Galio tinctoriae-Quercetum roboris* subass. *violetosum mirabilis* і subass. *dianthetosum fisheri*

За даними табл. 2 можна оцінити:

- 1) величину відхилення за кожним з факторів, що видно за розмірами стовпчиків діаграм;
- 2) напрямок дії (знак) фактору – за напрямком стовпчиків діаграм (відхилень);
- 3) кореляції між екофакторами – якщо стовпчики діаграм мають однаковий напрямок у двох чи більше факторів;
- 4) вплив фактору на диференціацію синтаксонів – за сумою квадратів відхилень по вертикалі;
- 5) ступінь спеціалізації синтаксонів – за сумою квадратів відхилень по горизонталі.

На відміну від регресійного і ординаційного підходів, де екофактор оцінюється "в цілому", для усіх синтаксонів чи описів, у аналізі відхилень оцінку можна проводити як для усіх, так і на рівні одного чи групи синтаксонів. Тому аналіз відхилень має переваги за значного еколого-фітоценотичного діапазону даних, оскільки у таких випадках імовірні кореляції екофакторів лише у частині градієнтів, а також зміна провідних факторів диференціації у межах певних груп синтаксонів (союзів, порядків і т.д.).

Застосування ANOVA для аналізу даних фітоіндикації. У табл. 3 наведено результати дисперсійного аналізу фітоіндикаційних даних набору даних НДЗ і тесту Тьюкі (Tukey's test) порівнянь синтаксонів, закодовані літерами.

Таблиця 3

Дисперсійний аналіз та тест Тьюкі (літери) відмінностей фітоіндикаційних показників у синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ

синтаксон	Hd	Rc	Tr	Nt	Lc	fH	Nv	Tm	Kn
1	a	c	b	c	a	b	bc	a	b
2	a	a	a	a	a	ab	a	a	a
3	b	b	b	a	a	ac	b	a	bc
4	b	ac	b	b	b	c	a	a	b
5	a	b	b	c	a	abc	ac	b	ac
F-stat	22.18	23.68	14.91	20.11	21.82	7.15	13.97	8.55	12.16
p-value	1.1E-11	3.1E-12	9.2E-09	6.5E-11	1.5E-11	7.4E-05	2.4E-08	1.2E-05	1.7E-07
F-rank	2	1	5	4	3	9	6	8	7

Оцінка вкладу факторів на основі дисперсійного аналізу можлива шляхом ранжування за значеннями F-статистики (у випадку використання стандартизованих за кількістю балів шкал), а також за значеннями p-value.

Для візуалізації екологічних рядів і амплітуд синтаксонів інформативними є т.з. скрипкові діаграми. На рис. 4 вони показані для факторів з найбільшими значеннями F-статистики, а саме вологості і кислотності (табл. 3).

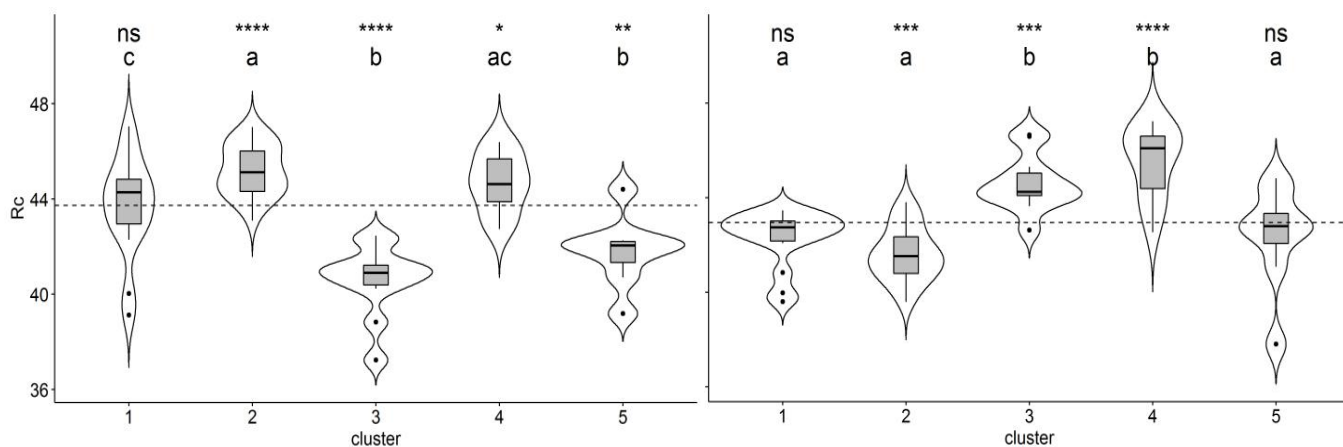


Рис. 4. Екологічні амплітуди синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ за факторами кислотності (Rc) та вологості (Hd) ґрунтів

Застосування дерев класифікації (CART) для аналізу екологічної диференціації рослинності. Нами запропонований підхід на основі дерев класифікації і даних фітоіндикаційного оцінювання різних синтаксонів, що може використовуватися як багаторівневого аналізу екологічної диференціації, так і для розпізнавання синтаксономічної належності описів на основі даних фітоіндикації. Древа класифікації – метод порівняно новий (Breiman et al., 1984), який належить до класу методів розпізнавання образів (pattern recognition). Апробація була проведена на синтаксонах ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ (рис. 5). Навчання моделі проводили на 20% описів з відомою належністю до синтаксонів, а інші 80% використовували для тестування моделі.

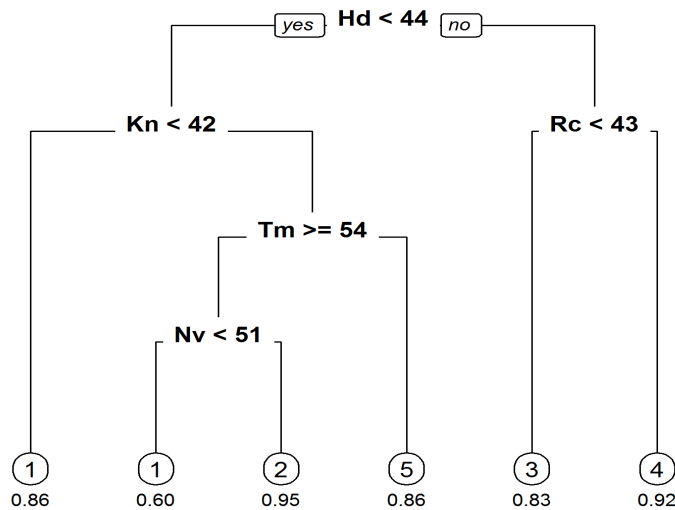


Рис. 5. Дерево класифікації синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ на основі даних їх фітоіндикаційної оцінки. Позначення синтаксонів див. табл. 2.

У контексті аналізу екологічної диференціації рослинності важливими є декілька питань. Які фактори "спрацювали" на найвищих рівнях поділу? Чи знайдені правила розділення для усіх синтаксонів? Які граничні значення кожного показника є межами амплітуд синтаксонів? Яка частка правильних класифікацій у кожного синтаксону?

З рис. 5 можна бачити, що з дев'яти врахованих екофакторів класифікатору "вистачило" п'ять індикаторів (Hd, Kn, Rc, Tm, Nv), які в основному і визначають диференціацію досліджених синтаксонів. На найвищому рівні поділу "спрацювала" вологість (Hd), а континентальність та кислотність – зумовлюють диференціацію меншої частини синтаксонів. "Чистота" термінальних вузлів, тобто частка описів, у яких передбачена і фактична належність до синтаксонів співпали, є значною і у більшості синтаксонів перевищує 0.8.

Метод дерев класифікації відрізняється від розглянутих раніше підходів і не дублює їх. Він дозволяє визначати які фактори "працюють" на рівні тих чи інших синтаксонів, визначати межі екологічних показників для розділення синтаксонів, а також описує диференціацію синтаксонів системою логічних правил, що нагадує ключ для визначення рослин і у цьому сенсі є близьким для ботаніків.

Розділ 5. ЗАСТОСУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РОСЛИННОСТІ

Порівняльний аналіз екологічних шкал відношення рослин до антропогенного фактору. Методика фітоіндикації є однією з найбільш перспективних для оцінки антропогенної трансформації рослинності. Це пояснюється тим, що у фітоіндикації враховується повний флористичний склад угруповань, а не лише окремі групи видів (адвентивні, синантропні і т.д.). Але традиційно у фітоіндикації оцінюються природні фактори. Разом з тим, багато випадків, коли антропогенний фактор є провідним – і він не потрапляє до факторів, що враховуються. Для цього необхідні екологічні шкали, які задовольняють двом умовам: характеризують стійкість рослин щодо антропогенного фактору та можуть бути переведені у числову шкалу з можливістю розрахунку середнього.

Нами був проведений порівняльний аналіз шкал гемеробії і урбанітету (Frank,

Klotz, 1990) та індексу природності (Borhidi, 1995). Метою аналізу була порівняльна оцінка зазначених шкал, а також оцінка можливості їх застосування на території України, оскільки усі вони розроблялися для західних регіонів Центральної Європи.

У табл. 4 наведені наступні показники шкал: медіани, діапазон значень, інформаційні індекси Шенона (Shannon 1948) і Пілу (Pielou 1966), кількість видів присутніх у шкалах і у флорі України (Mosyakin, Fedoronchuk 1999).

Таблиця 4

Аналіз екологічних шкал відношення рослин до антропогенного фактору – гемеробії (Hm, hemeroby), урбанітету (Ur, urbanity) (Frank & Klotz 1990), природності (Nv, naturalness) (Borhidi 1995)

Шкала	Мін. бал	Макс. бал	Медіана шкали	Заг. кільк. видів	У тому числі в Україні	Shannon's H-index	Pielou's evenness, %
Nv	-3	10	4	2591	2207	3.12	84
Hm	1	7	3	2214	1991	2.62	79
Ur	1	5	1	2154	1843	1.83	79

Проаналізовані "антропогенні" шкали істотно не відрізняються показниками врахування видів української флори (табл. 4), а більшість широко поширених видів, які трапляються в описах рослинності, в усіх шкалах наявні. Встановлено, що шкали антропогенних факторів у порівнянні із шкалами природних чинників відрізняються значною лівосторонньою асиметрією. Найбільше це виражено у шкали урбанітету, де медіана і мінімальне значення співпадають (табл. 4). Враховуючи, що у фітоіндикації розраховується середнє бальних оцінок видів, це є небажаним. За індексами Шенона і Пілу пріоритетною шкалою вибору для оцінки антропогенної трансформації є шкала природності, яка має і більшу кількість градацій (класів), і більш вирівняний розподіл ($H = 3.12$, $P = 84\%$).

Оцінка антропогенної трансформації за співвідношеннями видів різних життєвих форм та екологічних стратегій. На основі апробації різних показників з урахуванням співвідношень кількості видів різних життєвих форм і стратегій у видовому складі синтаксонів було доведено, що найбільш інформативними у відношенні оцінки антропогенної трансформації є наступні показники: 1) геофіти / терофіти (індекс IGT); 2) стрес-толеранти / рудерали (індекс ISR); 3) конкуренти / рудерали (індекс ICR). Це пояснюється, по-перше, різною стійкістю рослин різних життєвих форм і стратегій та її врахуванням у цих показниках, а, по-друге, тим, що нормовані індикатори (*прим.* – діапазон значень у індексів ISR, ICR, IGT від -1 до $+1$) забезпечують порівнюваність оцінок між синтаксонами з різною загальною кількістю видів. У табл. 5 на прикладі лісової рослинності м. Київ та околиць набору даних НД2 показано принцип і формули розрахунку зазначених показників.

Від першої до четвертої стадії частка геофітів знижується з 17% до 6%, а частка терофітів збільшується від 7% до 16% (табл. 5). На перших двох стадіях частка геофітів майже не змінюється – 17% і 16% (стадія опору ценотичної системи), а починаючи з третьої стадії (стадія декомпенсації) зменшується вдвічі, до 8%. Одночасно з цим, співвідношення геофітів і терофітів стає негативним, і змінюється від 0.42 до -0.45 , що означає кількісне переважає терофітів на цій стадії.

Зміни співвідношень видів різних екологічних стратегій (верхня частина) і життєвих форм (нижня частина) на різних стадіях антропогенної трансформації на прикладі лісової рослинності м. Київ та околиць

Стадії антропогенної трансформації	1	2	3	4
<i>Екологічні стратегії (класифікація Дж. Грайма)</i>				
C (конкуренти)	44	42	43	42
S (стрес-толеранти)	35	32	32	30
R (рудерали)	21	26	25	28
ISR = (S – R) / (S + R)	0.23	0.12	0.13	0.02
ICR = (C – R) / (C + R)	0.34	0.24	0.26	0.19
<i>Життєві форми (класифікація К. Раункієра)</i>				
фанерофіти	18	15	17	12
нанофанерофіти	6	3	7	3
хамефіти	4	3	7	6
гемікриптофіти	45	52	48	51
геофіти (криптофіти)	17	16	8	6
терофіти	7	10	13	16
IGT = (G – T) / (G + T)	0.42	0.23	-0.23	-0.45

Незважаючи на подібність формул зазначених у табл. 5 індексів, вони характеризують різні прояви антропогенної трансформації і не дублюють один одного. Це видно, зокрема, за різною швидкістю зміни показників стрес-толеранти / рудерали (індекс ISR) та конкуренти / рудерали (індекс ICR) у випадку співставлення однакових стадій антропогенної трансформації. Індекс ISR суттєво зменшується вже на початкових стадіях трансформації, а індекс ICR – на більш пізніх і вказує на глибокий ступінь трансформації.

Розділ 6. ФІТОСОЦІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СИНТАКСОНОМІЧНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ РОСЛИННОСТІ

У табл. 6 наведені фітосоціологічні спектри (ФЦС) синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів (набір даних НДЗ), які відображають частки у видовому складі синтаксонів діагностичних видів різних класів рослинності.

Таблиця 6

Фітосоціологічні спектри (ФЦС) синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів набору даних НДЗ

синтаксон	diff	GER	FAG	BRA	FES	PUB	MOL
1	0.08	0.25	0.14	0.17	–	–	0.13
2	0.04	0.24	0.28	0.12	0.18	–	–
3	0.08	0.27	0.17	–	0.19	0.15	–
4	0.05	0.21	0.28	0.23	–	0.14	–
5	0.03	0.28	–	0.25	0.13	–	0.13

Позначення синтаксонів такі ж як у табл. 2. Позначення класів рослинності: PUB – *Quercetea pubescentis*, QUE – *Quercetea robori-petraeae*, FAG – *Carpino-Fagetea*, GER – *Trifolio-Geranietea*, MOL – *Molinio-Arrhenatheretea*, FES – *Festuco-Brometea*.

У кожного синтаксону наводяться топ-4 класи із найбільшими частками. Різниця часток видів 1-го та 2-го класів (табл. 6, колонка diff) є показником екотонності видового складу синтаксонів. З табл. 6 видно, що видовий склад синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів має перехідний (екотонний) характер. Спостерігається значне різноманіття щодо присутності у видовому складі синтаксонів видів з різних класів рослинності, але різниця часток першого і другого класів коливається лише у межах 0.03 – 0.08, або 3% – 8%.

Проведений аналіз методики фітосоціологічного спектру (ФЦС) показав, що вона має значні переваги для аналізу екотонних типів рослинності (узлісся, лучні степи, ксеромезофітні дубові ліси і т.п.), а також у випадку переважання угруповань, де відсутні характерні види нижчих синтаксономічних одиниць. Класифікація такої рослинності з використанням традиційного підходу Браун-Бланке має значні обмеження і стає неоднозначною. У методиці ФЦС ключовою ознакою є не присутність характерних видів, а співвідношення видів різних класів рослинності, яке унікальне для кожного синтаксону і слугує діагностичною ознакою.

Розділ 7. КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ СИНОПТИЧНИХ ДАНИХ (НА ПРИКЛАДІ КСЕРОМЕЗОФІТНИХ ДУБОВИХ ЛІСІВ)

З використанням кількісних методів, у т.ч. кластерного аналізу видового складу синтаксонів, була проведена синтаксономічна ревізія ксеромезофітних дубових лісів помірної зони Європи. Реперні точки-синтаксони включають Центральну і Східну Європу (до Південного Уралу), загалом 8 країн (Чехія, Словаччина, Німеччина, Угорщина, Польща, Румунія, Україна і європейська частина Росії).

Дані щодо видового складу 45 синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів були узяті із синтаксономічних публікацій (Libbert 1933; Zólyomi 1957; Байрак 1996; Соломаха та ін. 1996; Шевчик та ін. 1996; Любченко та ін. 1997; Chytrý, Horák 1997; Морозова 1999; Jakubowska-Gabara 2000; Булохов, Соломещ 2003; Гончаренко 2003; Мартыненко и др. 2005; Roleček 2005; Ciosek 2006; Онищенко та ін. 2007; Мартыненко и др. 2008; Семенищенков 2009; Миркин и др. 2010; Kasproicz 2010; Назаренко, Куземко 2011; Соколова 2011; Indreica 2011; Кузьменко 2012; Семенищенков 2012; Гайова, Коротченко 2013; Панченко 2013; Семенищенков, Полюянов 2014; Воробйов та ін. 2017; Brzeg, Wika 2017). Таксономічна уніфікація видового складу синтаксонів була проведена згідно Euro+Med PlantBase (www.emplantbase.org). Об'єднаний список видів налічував 753 таксони після уніфікації. Замість проєктивного покриття видів (окомірний і флуктуючий показник) для класифікації використовувався показник трапляння видів, що є статистичним і більш стабільним, аніж проєктивне покриття. Значення трапляння усіх видів були переведені у відсотки або розраховані, там де вони не зазначалися.

Кластерний аналіз синтаксонів проводився на основі матриці евклідових дистанцій (Euclidean distances), розрахованих для логарифмічно трансформованих і стандартизованих за Хеллінгером (Hellinger standardisation) (Legendre P., Legendre L. 2012) даних трапляння видів. Для визначення оптимальної кількості кластерів у даних та аналітичної комбінації (спосіб трансформації значень трапляння видів + коефіцієнт розрахунку відстаней між синтаксонами + алгоритм групування) (Lötter et al. 2013) проводився пошук максимумів на кривій статистики силуетів (Rousseeuw

1987) при різній кількості кластерів та кількості діагностичних видів згідно методики Optimclass (Tichý et al. 2010).

Було виділено 6 груп синтаксонів (рис. 6). Для ґрунтової інтерпретації кластерів враховували положення у дендрограмі номенклатурних типів 4-х союзів, які показані зафарбованими маркерами – *Aceri tatarici-Quercion* (11), *Convallario majalis-Quercion* (19), *Potentillo albae-Quercion* (14), *Lathyro pisiformis-Quercion* (43).

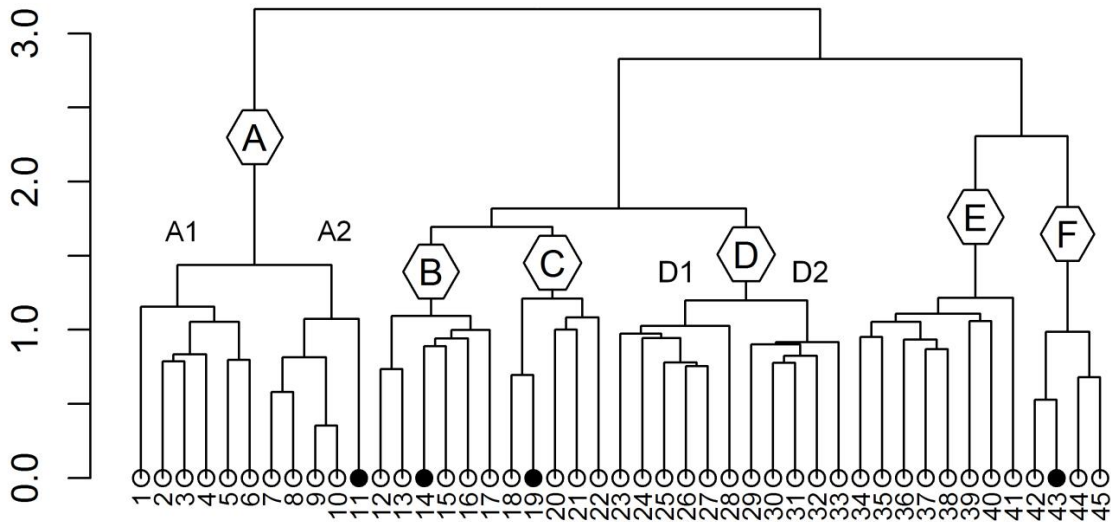


Рис. 6. Кластерний аналіз синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів Центральної та Східної Європи (набір даних НД5)

Кластер А об'єднав синтаксони Центральної і Південно-Східної Європи. Кластер В (*Potentillo albae-Quercion*) об'єднав синтаксони з північних регіонів Європи (Німеччини та Польщі). Кластер С об'єднав синтаксони (18–22) з Центральної України. Це ксеромезофітні мішані ліси, які найчастіше відносять до союзу *Convallario majalis-Quercion roboris* (Шевчик та ін., 1996). Кластер F об'єднав південно-уральську групу синтаксонів – він добре диференційований і з голотипом союзу *Lathyro pisiformis-Quercion* усередині кластеру (рис. 6). Кластери D та E описані нами як нові східноєвропейські союзи – *Betonico officinalis-Quercion roboris* та *Scutellario altissimae-Quercion roboris* (Goncharenko et al. 2020). Підставами для їх відокремлення є наступна сукупність важливих ознак: 1) географічна відмежованість і відносна компактність у межах кожної з груп; 2) флористичні відмінності, що обумовило відокремлення на дендрограмі (рис. 6); 3) відмінності за фітоіндикаційними показниками; 4) відмінності фітосоціологічної структури синтаксонів на рівні співвідношень діагностичних видів різних класів; 5) відмінності основних ярусоформуєчих видів, про що піде мова далі. До наших досліджень значну частину синтаксонів в українських і російських публікаціях відносили (помилково як для східних регіонів) до союзів *Quercion petraeae* та *Aceri tatarici-Quercion*.

Для класифікації і сортування видів використовували метод multipatt класифікації, multilevel pattern analysis (De Cáceres et al. 2010). Бувиділено 17 діагностичних блоків (multipatt-груп), яким дали умовні назви за видами найвищого трапляння у кожному з блоків. В табл. 7 наведено оцінку повноти діагностичних блоків (multipatt-груп), яка визначається як частка ненульових значень трапляння видів у кожному з блоків, виражена у відсотках від максимально можливої. Це

дозволяє оцінити кількісно ступінь концентрації діагностичних видів у діагностичних блоках і їх відмежованість.

Таблиця 7

**Діагностичні блоки multipatt класифікації (multipatt-групи)
ксеромезофітних дубових лісів Центральної та Східної Європи (значення більше
40% зафарбовані сірим)**

кластери	A	B	C	D	E	F
географічна група / регіон	ЦЄПд	ЦЄПн	СЄПн	СЄПн	СЄПд	ПУр
multipatt- група	повнота блоку, block fill, %					
<i>Ligustrum vulgare</i> (A)	58	6	1	3	3	5
<i>Juniperus communis</i> (B)	9	66	1	6	–	–
<i>Melampyrum polonicum</i> (C)	–	–	50	5	–	–
<i>Allium oleraceum</i> (D)	3	3	1	44	2	–
<i>Acer tataricum</i> (E)	4	2	13	14	60	–
<i>Lathyrus pisiformis</i> (F)	2	2	1	3	4	71
<i>Quercus petraea</i> (AB)	76	68	7	11	6	–
<i>Acer campestre</i> (AE)	73	9	14	16	58	12
<i>Pulmonaria angustifolia</i> (BD)	9	47	7	59	4	–
<i>Cytisus ruthenicus</i> (DF)	8	4	6	59	7	69
<i>Potentilla alba</i> (ABD)	59	57	6	64	5	–
<i>Phlomis tuberosa</i> (DEF)	15	15	17	66	65	65
<i>Campanula persicifolia</i> (ABCD)	69	65	60	72	3	11
<i>Brachypodium pinnatum</i> (ABDF)	63	54	12	70	10	73
<i>Sorbus aucuparia</i> (BCDF)	16	73	58	84	15	68
<i>Convallaria majalis</i> (ABCDE)	79	56	45	67	59	2
<i>Quercus robur</i> (ABCDEF)	77	59	57	80	60	86

Позначення регіонів: ЦЄПд – центральна і південна частина Європи, ЦЄПн – центральна і північна частина Європи, СЄПн – східноєвропейська частина, лісова і лісостепова зона, СЄПд – східноєвропейська частина, лісостепова і степова зона, ПУр – південно-уральський регіон.

З табл. 7 можна бачити значні відмінності груп синтаксонів А–F за флористичним складом. Розташування блоків у верхній частині табл. 7 є діагональним і традиційним для методики Браун-Бланке. Але значна частина діагностичних видів зосереджена у multipatt-групах, які об'єднують декілька кластерів (AB, AE, BD, DF, ABD та ін.). Це пояснюється, по-перше, дуже значним географічним діапазоном даних і, по-друге, групами видів, спряженість яких зумовлена подібністю ареалів. Так, основна частина центральноєвропейських (західних) видів зосереджена у multipatt-групах А і АВ, тоді як у блоках Е, F, BD, DF і т.д. переважають види східноєвропейські (*Acer tataricum*, *Pulmonaria angustifolia*, *Clematis recta*, *Asperula tinctoria* та ін.). Види з широким пан'європейським ареалом розподілилися у блоках ABCDE і ABCDEF. Таким чином, структура діагностичних блоків синоптичної матриці ксеромезофітних дубових лісів помірної зони Європи має чітку географічну (фітохорологічну) закономірність.

Фітоіндикаційний аналіз синтаксонів. Оскільки дані по ксеромезофітних дубових лісах охоплюють як Центральну, так і Східну Європу, а екологічні шкали регіональні, для фітоіндикаційного аналізу синтаксонів нами було застосовано метод їх екологічної оцінки із одночасним оцінюванням з використанням двох екологічних

шкал – Г. Еленберга та Я. Дідуха, тобто розроблених для Центральної (Ellenberg et al. 1991) і Східної Європи (Didukh 2011). У подібних випадках брати за основу тільки одні шкали, більш західні або східні, було би невірним.

На рис. 7 вектори фітоіндикаційних показників спроектовано у площину двох перших вісей неметричного багатовимірного шкалювання (Kruskal, 1964). Враховувалися фактори присутні в обох шкалах. Префікси "e" і "d" позначають показники шкал Г. Еленберга (Ellenberg et al. 1991) і Я. Дідуха (Didukh 2011).

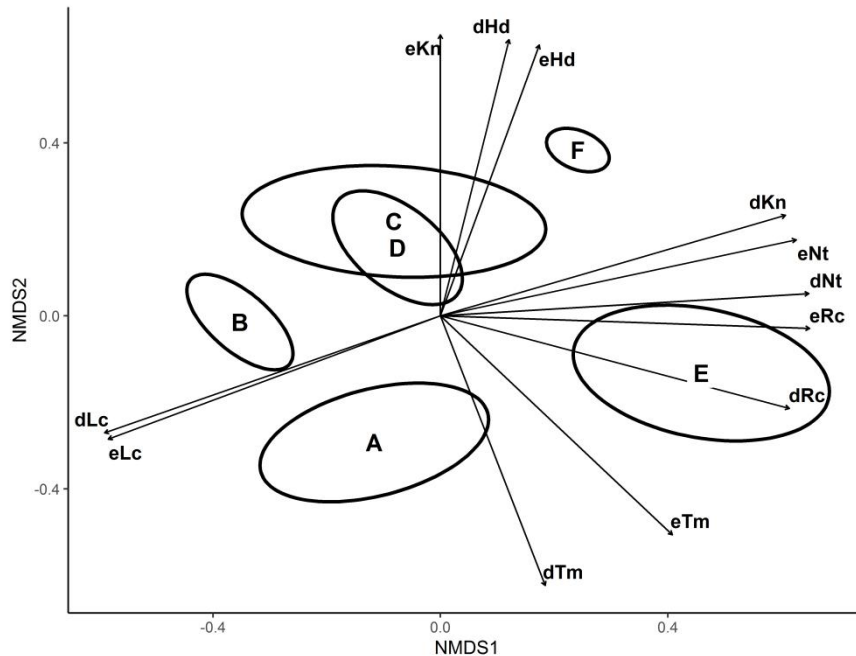


Рис. 7. NMDS ординація синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів Центральної та Східної Європи та проекції фітоіндикаційних змінних, розрахованих для синтаксонів з використанням шкал Г. Еленберга і Я. Дідуха

Як видно з рис. 7, найменший кут (майже паралельні вектори) між оцінками світлового режиму у обох шкал, а найбільші відмінності – у напрямках векторів континентальності. Кути між векторами інших однойменних факторів (eHd – dHd, eRc – dRc і т.д.) свідчать про кореляцію фітоіндикаційних показників, розрахованих з використанням шкал Г. Еленберга і Я. Дідуха. Довжини векторів однойменних факторів, що показують вклад тих чи інших факторів у синтаксономічну диференціацію, також є близькими.

Апробований нами підхід з одночасним використанням двох (або більше) екологічних шкал, розроблених для регіонів з різними кліматичними умовами, дозволяє збільшити інформативність і надійність загальної оцінки. Він рекомендується насамперед у випадках даних з дуже значним географічним діапазоном, оскільки має переваги за рахунок: 1) більш повного врахування видового складу, у т.ч. західних і східних синтаксонів; 2) врахування специфіки оптимумів видів у різних регіонах; 3) можливості співставлення оцінок, одержаних з двох (декількох) екологічних шкал (перехресна перевірка) на одній ординаційній моделі.

Оцінка впливу кліматичних факторів на диференціацію синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів. Оцінку впливу кліматичних факторів можна проводити на основі методики фітоіндикації із застосуванням шкал кліматичних чинників, зокрема терморежиму, омброрежиму, континентальності та кріорежиму

(Didukh 2011). Додатково до цього нами був апробований підхід на основі біокліматичних змінних моделі Wordclim 2.0 (Fick & Hijmans 2017), який дозволяє провести декомпозицію збірного поняття "клімат" не на 4, як у фітоіндикації, а на 19 показників. Для ординації синтаксонів використовувався метод db-RDA, або т.з. аналіз надлишковості, що базується на відстанях (Legendre and Anderson 1999). Для зменшення кількості корелюючих і мало впливаючих на диференціацію чинників здійснювався їх послідовний прямий відбір (forward selection) з використанням функції ordiR2step пакету vegan (Oksanen et al. 2018). На рис. 8 показано одержану ординаційну модель ксеромезофітних дубових лісів і вектори біокліматичних змінних, які були відібрані алгоритмом ordiR2step (Oksanen et al. 2018).

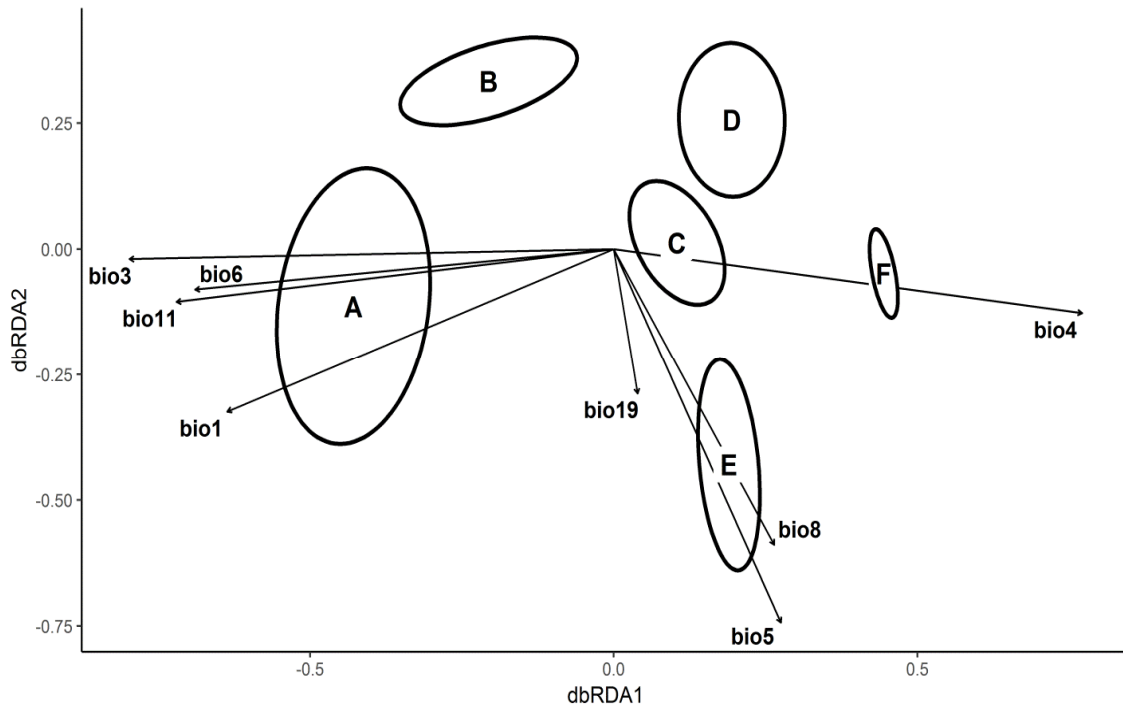


Рис. 8. Ординаційна модель ксеромезофітних дубових лісів Центральної та Східної Європи і вектори біокліматичних змінних Wordclim (Fick & Hijmans 2017)

Частка варіації, яка пояснюється впливом кліматичних чинників, становила 38.1%, що є значною. Як видно з рис. 8, більшість їх стосуються температурних показників клімату (bio1, bio3, bio4, bio5, bio6, bio11). Кількість опадів відіграє не самостійну роль, а у зв'язку з температурним фактором, про що свідчать змінні bio8 та bio19, які визначаються одночасно опадами і температурою.

Найбільший вклад у ординаційну модель мали показники bio3 та bio4, тобто ізотерічність та температурна сезонність, які відображають вплив фактору континентальності, а також показники bio6 і bio11, тобто мінімальна температура найхолоднішого місяця та середня температура найхолоднішого кварталу, які фактично є аналогами кріорежиму у фітоіндикації, оскільки залежать від мінімальних температур.

Таким чином, серед кліматичних факторів провідними у відношенні диференціації синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів є континентальність та кріорежим. Останній відіграє роль лімітуючого фактору і зумовлює поступове зникання термофільних видів у напрямку на схід і заміщення їх видами степовими (континентальними, морозостійкими) у видовому складі синтаксонів КДЛ.

Розділ 8. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КСЕРОМЕЗОФІТНИХ ДУБОВИХ ЛІСІВ (У МЕЖАХ ПОМІРНОЇ ЗОНИ ЄВРОПИ)

Фітосоціологічний аналіз структури ксеромезофітних дубових лісів (КДЛ) проводився з використанням методики фітосоціологічного спектру (розділ 6). Фітосоціологічна структура КДЛ має перехідний (екотонний) характер. У видовому складі синтаксонів КДЛ співтрапляються види восьми класів і трьох типів рослинності – чотирьох класів деревної, три класи трав'яної і 1 клас чагарникової рослинності (табл. 8).

Таблиця 8

Частки діагностичних видів різних класів рослинності у видовому складі шести кластерів синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів Центральної та Східної Європи

Кластер	Регіон	PUB	QUE	FAG	BRA	GER	MOL	FES	RHA	Три перші класи
A	ЦЄПд	0.24	0.09	0.20	<u>0.05</u>	0.22	0.06	0.05	0.09	PUB+GER+FAG
B	ЦЄПн	0.21	0.12	0.23	0.09	<u>0.18</u>	0.07	0.03	0.07	FAG+PUB+GER
C	СЄПн	0.19	0.13	0.20	0.13	0.21	0.06	0.04	0.04	GER+FAG+PUB
D	СЄПн	0.17	0.10	<u>0.16</u>	0.12	0.22	0.14	0.06	0.03	GER+PUB+FAG
E	СЄПд	0.23	0.06	0.29	0.06	0.18	<u>0.04</u>	<u>0.04</u>	0.10	FAG+PUB+GER
F	ПУр	<u>0.13</u>	<u>0.04</u>	0.17	0.20	0.21	0.12	0.11	<u>0.02</u>	GER+BRA+FAG

Позначення класів рослинності відповідають EuroVegChecklist (Mucina et al. 2016). Позначення регіонів такі ж як у табл. 7. Жирним шрифтом показане максимальне, курсивом – мінімальне значення для кожного класу.

Частки видів різних класів є близькими, хоча порядок (ранги) їх відрізняються (табл. 8, остання колонка, де показані три перші за частками видів класи). Лише у кластеру А види класу *Quercetea pubescentis* виходять на перше місце у фітосоціологічній структурі синтаксонів. Частки видів західних класів *Quercetea robori-petraeae* і *Carpino-Fagetea* помітно зменшуються у східному напрямку. У цьому ж напрямку простежується збільшення частки видів класів континентального поширення – *Festuco-Brometea* і *Brachypodio-Betuletea*. Стабільною і доволі високою (0.18–0.22) у всіх синтаксонів є частка видів *Trifolio-Geranietea*, що є класом азональної рослинності. Отже, досліджені закономірності фітосоціологічної структури ксеромезофітних дубових лісів чітко узгоджуються з географічним положенням синтаксонів відносно центрів різноманіття (оптимумів) тих чи інших класів рослинності.

Аналіз ярусної структури ксеромезофітних дубових лісів. У табл. 9 наводяться переліки видів найвищого трапляння основних ярусів ксеромезофітних дубових лісів у різних регіонах Європи. Наведено по 4 види із найбільшими значеннями середнього трапляння у кожній групі синтаксонів, що були виділені за результатами кластерного аналізу (рис. 6). У центральноевропейських КДЛ (кластери А і В), *Quercus petraea* виграє позиції у *Q. robur*. У кластеру А різноманіття роду *Quercus* є найбільшим. У напрямку на схід також зменшується загальна різноманітність деревних видів і поступово випадають західні *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica*, *Prunus avium*, *Carpinus betulus*. Роль сосни (*Pinus sylvestris*) у деревостані найвища у кластеру С. У кластеру D переважаючий тип деревостану

"осиково-березово-дубовий", кластеру Е – "ясенново-кленово-дубовий", у кластеру F – "кленово-липово-дубовий". Відмінності ярусної структури поширюються і на чагарниковий ярус: він "бірючиновий" у кластеру А, змінюється "крушиновим" у кластерів В і D, "бородавчатобруслиновим" у кластерів С та Е і т.д.

Таблиця 9

Основні ярусоформуючі види ксеромезофітних дубових лісів у різних регіонах Європи

Клас-тер	Регіон	Деревний ярус
А	ЦЄПд	<i>Quercus petraea</i> + <i>Q. robur</i> + <i>Q. cerris</i> + <i>Carpinus betulus</i>
В	ЦЄПн	<i>Quercus petraea</i> + <i>Q. robur</i> + <i>Pyrus communis</i> + <i>Carpinus betulus</i>
С	СЄПн	<i>Quercus robur</i> + <i>Pinus sylvestris</i> + <i>Acer platanoides</i> + <i>Populus tremula</i>
D	СЄПн	<i>Quercus robur</i> + <i>Betula pendula</i> + <i>Populus tremula</i> + <i>Malus sylvestris</i>
Е	СЄПд	<i>Quercus robur</i> + <i>Acer platanoides</i> + <i>Fraxinus excelsior</i> + <i>Pyrus communis</i>
F	ПУр	<i>Quercus robur</i> + <i>Tilia cordata</i> + <i>Acer platanoides</i> + <i>Ulmus glabra</i>
Чагарниковий ярус		
А	ЦЄПд	<i>Ligustrum vulgare</i> + <i>Crataegus monogyna</i> + <i>Acer campestre</i> + <i>Prunus spinosa</i>
В	ЦЄПн	<i>Frangula alnus</i> + <i>Corylus avellana</i> + <i>Sorbus aucuparia</i> + <i>Juniperus communis</i>
С	СЄПн	<i>Euonymus verrucosus</i> + <i>Sorbus aucuparia</i> + <i>Frangula alnus</i> + <i>Acer tataricum</i>
D	СЄПн	<i>Frangula alnus</i> + <i>Sorbus aucuparia</i> + <i>Euonymus verrucosus</i> + <i>Corylus avellana</i>
Е	СЄПд	<i>Euonymus verrucosus</i> + <i>Acer tataricum</i> + <i>A. campestre</i> + <i>Crataegus rhipidophylla</i>
F	ПУр	<i>Caragana frutex</i> + <i>Prunus padus</i> + <i>P. fruticosa</i> + <i>Rhamnus cathartica</i>
Трав'яний ярус		
А	ЦЄПд	<i>Poa nemoralis</i> + <i>Veronica chamaedrys</i> + <i>Clinopodium vulgare</i> + <i>Vincetoxicum hirundinaria</i>
В	ЦЄПн	<i>Betonica officinalis</i> + <i>Veronica chamaedrys</i> + <i>Fragaria vesca</i> + <i>Clinopodium vulgare</i>
С	СЄПн	<i>Convallaria majalis</i> + <i>Melica nutans</i> + <i>Pteridium aquilinum</i> + <i>Geranium sanguineum</i>
D	СЄПн	<i>Betonica officinalis</i> + <i>Convallaria majalis</i> + <i>Veronica chamaedrys</i> + <i>Melica nutans</i>
Е	СЄПд	<i>Poa nemoralis</i> + <i>Stellaria holostea</i> + <i>Carex muricata</i> + <i>Dactylis glomerata</i>
F	ПУр	<i>Brachypodium pinnatum</i> + <i>Stellaria holostea</i> + <i>Origanum vulgare</i> + <i>Phlomis tuberosa</i>

Істотно відрізняються у різних регіонах Європи фонові види найвищого трапляння трав'яного ярусу. Так, у європейських лісах найбільш постійними видами є *Betonica officinalis*, *Clinopodium vulgare*, *Convallaria majalis*, *Veronica chamaedrys*, *Poa nemoralis*, *Melica nutans* та ін. У південно-уральських лісах основними видами трав'яного ярусу є *Brachypodium pinnatum*, *Origanum vulgare*, *Phlomis tuberosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Digitalis grandiflora*, *Carex pediformis*, тобто види континентальні, більшість яких не є неморальними. Зазначені відмінності свідчать про суттєві відмінності виділених груп синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів, оскільки вони стосуються видів високого трапляння, серед яких є також едифікатори і доміанти усіх основних ярусів.

Розділ 9. ФІТОЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТАКСОНІВ КСЕРОМЕЗОФІТНИХ ДУБОВИХ ЛІСІВ

Запропонована і зазначена нижче синтаксономічна схема рослинності ксеромезофітних дубових лісів складена з урахуванням результатів кластерного

аналізу синтаксонів, проведеного з урахуванням їх повного видового складу (рис. б). До складу трьох східних союзів *Convallario-Quercion*, *Betonico-Quercion*, *Scutellario-Quercion*, угруповання яких поширені в Україні, увійшло загалом 17 асоціацій. У цій схемі ми не зазначаємо положення у системі порядків і класів. Це питання є дискусійним і може бути вирішене лише після ревізії класу *Quercetea pubescentis* на загальноєвропейському рівні. Нині цей клас у EuroVegChecklist є, на нашу думку, значною мірою гетерогенним, а відповідно і місце українських (східноєвропейських) синтаксонів у ньому лишається поки що умовним.

Convallario majalis-Quercion roboris Shevchyk & V. Solomakha in Shevchyk, V. Solomakha & Voityuk 1996

Melico nutantis-Quercetum roboris Shevchyk & V. Solomakha 1996

Polygonato odorati-Quercetum roboris (Shevchyk & V. Solomakha 1996) Goncharenko & Yatsenko 2019 (syn. *Convallario majalis-Quercetum roboris sensu* Shevchyk & V. Solomakha 1996, non Soó (1939) 1957, ст. 31, МКФН)

Clinopodio vulgaris-Quercetum roboris I. Solomakha, Senchylo & Vorobyov 1996

Daphno cneori-Quercetum roboris (Gayova & Korotchenko 2013) Goncharenko in Goncharenko et al. 2020 (syn.: *Convallario majalis-Quercetum roboris daphneosum cneori* Gayova & Korotchenko 2013, ст. 27d, МКФН)

Pteridio aquilini-Quercetum roboris Bajrak 1996

Betonico officinalis-Quercion roboris Goncharenko et Semenishchenkov in Goncharenko et al. 2020 (Misapplied names: *Quercion petraeae sensu auct. ucrain. et ross. non* Issler 1931; *Potentillo albae-Quercion petraeae sensu auct. ucrain. et ross., non* Jakucs in Zólyomi 1967)

Galio tinctoriae-Quercetum roboris Goncharenko 2003

Digitali grandiflorae-Quercetum roboris Goncharenko & Kovalenko 2019

Carici praecocis-Quercetum roboris Goncharenko & Kovalenko 2019

Lathyro nigri-Quercetum roboris Bulokhov & Solomeshch 2003 (syn.: *Potentillo albae-Quercetum sensu* Morozova 1999 non Libbert 1933)

Chamaecytiso ruthenici-Quercetum roboris Semenishchenkov & Poluyanov 2014

Pyro pyrastris-Quercetum roboris Semenishchenkov & Poluyanov 2014

Scutellario altissimae-Quercion roboris Goncharenko in Goncharenko et al. 2020 (Misapplied name: *Aceri tatarici-Quercion sensu auct. ucrain. et ross. non* Zólyomi 1957)

Aegonycho purpureocaerulei-Quercetum roboris Bajrak 1996 (Syn.: *Melampyro nemorosi-Carpinetum betuli sensu* Lyubchenko et al. 1997 non Passarge 1957, ст. 31 МКФН)

Caragano fruticis-Aceretum tatarici Nazarenko & Kuzemko 2011

Fritillario ruthenici-Quercetum roboris Onyschenko, Dyakova & Karpenko ex Goncharenko in Goncharenko et al. 2020 (Syn.: *Fritillario ruthenicae-Quercetum roboris* Onyschenko, Dyakova & Karpenko 2007, ст. 3b, 5 МКФН)

Scorzonero ensifoliae-Quercetum roboris Sokolova ex Semenshenkov in Goncharenko et al. 2020 (Syn.: *Scorzonero ensifoliae-Quercetum roboris* Sokolova 2011 nom. inval., ст. 3b, 5 МКФН)

Vicio pisiformis-Quercetum roboris Semenishchenkov & Poluyanov 2014

Violo hirtae-Quercetum roboris Vorobyov et al. 2017

У табл. 12 наведено ключові відмінності двох описаних нами східних союзів – *Betonico officinalis-Quercion roboris* та *Scutellario altissimae-Quercion roboris*.

Порівняння союзів *Betonico officinalis-Quercion roboris* та *Scutellario altissimae-Quercion roboris*

Параметр порівняння	<i>Betonico officinalis-Quercion roboris</i>	<i>Scutellario altissimae-Quercion roboris</i>
Зональне розташування	південна частина лісової зони та лісостепова зона	степова зона та південна частина лісостепової зони
Провінціальне розташування	у межах східноєвропейської флористичної провінції	у межах східноєвропейської флористичної провінції
Ареал (приблизний)	східніше межі поширення <i>Quercus petraea</i> , на північ – до межі поширення <i>Potentilla alba</i> , на півдні – до північної межі <i>Buglossoides purpurocaerulea</i>	східніше межі <i>Quercus petraea</i> , північна межа приблизно збігається з межею <i>Buglossoides purpurocaerulea</i> , південна і східна межа потребують уточнень
Рельєф	переважно терасові діброви, частково байрачні і на корінних схилах річок	байрачні діброви, у степовій зоні також у заплавах і на корінних схилах річок
Едафотоп	піщані дерново-підзолисті ґрунти, на алювіальних відкладах	сірі лісові ґрунти та опідзолені чорноземи, переважно на карбонатних породах
Співдомінанти <i>Quercus robur</i>	бореальні види, зокрема <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Betula pendula</i>	неморальні види, наприклад, <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Ulmus glabra</i> , <i>Acer platanoides</i>
Чагарниковий ярус	ацидофільні види мішаних дубово-соснових лісів	види відкритих (ксеричних) місцезростань класу <i>Crataego-Prunetea</i>
Трав'яний ярус	поєднання видів <i>Trifolio-Geranietea</i> і <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	поєднання видів <i>Festuco-Brometea</i> і <i>Trifolio-Geranietea</i>

Спільними ознаками досліджених нами синтаксонів зазначених східних союзів ксеромезофітних дубових лісів є: високі показники флористичного багатства; деревний ярус з переважанням дуба (один вид – *Quercus robur*); середньо-зімкнутий до розрідженого деревостан (у середньому зімкнутість складає 0.6); значне відношення кількості нанофанерофітів до фанерофітів у біоморфологічній структурі; перехідний (екотонний) характер фітосоціологічної структури угруповань (табл. 8), присутність східноєвропейських видів, більшість з яких не є неморальними; відсутність численних центральноєвропейських видів; незначна кількість фагетальних видів; невираженість синузії весняних ефемероїдів; відсутність чітких домінантів у трав'яному і чагарниковому ярусах.

Фітоіндикаційний аналіз синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів. З використанням аналізу відхилень (розділ 4) було досліджено диференціацію амплітуд синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів на рівні асоціацій у трьох союзів *Convallario-Quercion*, *Betonico-Quercion*, *Scutellario-Quercion*, ареал яких включає Україну. Найбільші суми квадратів відхилень (0.17 та 0.20) спостерігаються у факторів вмісту азоту та світлового режиму (табл. 13). Тобто ці фактори можна вважати провідними у виникненні флористичних відмінностей на рівні асоціацій. Але на межі різних союзів спостерігається зміна напрямків стовпчиків діаграм у інших факторів – переважно у кислотності і терморезиму (табл. 13). Це добре видно у кластеру Е, де стовпчики діаграм мають напрямок вправо, що пояснюється приуроченістю до ґрунтів нейтральних або слабколужних (Донецький кряж). Тобто провідні екологічні фактори на різних рівнях синтаксономічної диференціації (ієрархії) ксеромезофітних дубових лісів є різними.

Відхилення значень фітоіндикаційних показників, розраховані для синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів Східної Європи

№ п/п	Кластер	Союз	Hd	Rc	Tr	Nt	Lc	Ca	Tm	Kn
1	C	CQ	0.02	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	0.02	-0.01	-0.01
2	C	CQ	0.03	0.01	-0.03	0.00	-0.08	-0.01	-0.01	-0.03
3	C	CQ	0.01	-0.05	-0.08	-0.05	-0.04	-0.01	0.00	-0.06
4	C	CQ	-0.08	-0.02	-0.02	-0.15	0.08	0.07	0.02	0.05
5	C	CQ	0.04	0.00	-0.05	0.02	-0.05	-0.05	-0.02	-0.02
6	D1	BQ	0.06	-0.06	-0.05	-0.02	0.00	-0.07	-0.05	-0.05
7	D1	BQ	0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.06
8	D1	BQ	0.06	-0.05	-0.02	-0.02	0.04	-0.06	-0.04	-0.02
9	D1	BQ	0.02	-0.06	-0.03	-0.07	0.04	-0.05	-0.03	-0.02
10	D1	BQ	0.05	-0.07	-0.05	-0.06	-0.02	-0.07	-0.05	-0.03
11	D1	BQ	-0.01	-0.07	0.01	-0.10	0.13	-0.07	-0.04	0.00
12	D2	BQ	-0.02	-0.03	0.00	-0.07	0.07	0.01	-0.01	0.01
13	D2	BQ	-0.03	0.01	0.03	-0.02	0.10	0.03	0.01	0.01
14	D2	BQ	-0.02	-0.01	0.05	-0.03	0.08	0.02	0.00	0.05
15	D2	BQ	-0.03	0.01	0.04	-0.02	0.08	0.01	-0.01	0.02
16	D2	BQ	0.00	0.01	0.01	-0.03	0.03	0.01	-0.01	-0.02
17	D2	BQ	-0.05	-0.01	0.03	-0.09	0.11	0.02	0.01	0.02
18	D2	BQ	-0.03	-0.02	0.02	-0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
19	E	SQ	0.04	0.02	-0.04	0.11	-0.17	-0.04	0.02	-0.05
20	E	SQ	0.06	0.07	-0.03	0.14	-0.26	-0.01	0.02	0.01
21	E	SQ	-0.02	0.07	0.02	0.13	-0.09	0.04	0.04	-0.01
22	E	SQ	-0.02	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00
23	E	SQ	-0.02	0.09	0.03	0.09	-0.07	0.06	0.03	0.01
24	E	SQ	0.00	0.08	0.03	0.17	-0.05	0.03	0.04	0.04
25	E	SQ	-0.09	0.09	0.09	0.03	0.03	0.14	0.05	0.07
26	E	SQ	0.03	0.04	0.07	0.13	0.04	0.01	0.04	0.06
Сума квадратів відхилень			0.04	0.07	0.05	0.17	0.20	0.06	0.02	0.03

Позначення синтаксонів: 1 – *Melicae nutantis-Quercetum robori* (Шевчик та ін. 1996); 2 – *Convallario majali-Quercetum roboris* (Шевчик та ін. 1996); 3 – *Clinopodio vulgare-Quercetum robori* (Соломаха та ін. 1996); 4 – *Convallario majali-Quercetum robori daphneosum sneori* (Гайова, Коротченко 2013); 5 – *Pteridio aquilini-Quercetum robori* (Байрак 1996); 6 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris* (Кузьменко 2012); 7 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris* (Булохов, Соломещ 2003); 8 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris* (Семенищенков 2009); 9 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris pinetosum sylvestris* (Семенищенков, Панченко 2012); 10 – *Potentillo albae-Quercetum* (Морозова 1999); 11 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris* (Панченко 2013); 12 – *Galio tinctori-Quercetum roboris* (Гончаренко 2003); 13 – *Puro pyrastris-Quercetum roboris* (Семенищенков, Полуянов 2014); 14 – *Chamaecytiso ruthenici-Quercetum roboris* (Семенищенков, Полуянов 2014); 15 – *Lathyro pisiformis-Quercetum roboris* (Семенищенков, Полуянов 2014); 16 – *Lathyro nigri-Quercetum roboris var. Clematis recta* (Семенищенков, Телеганова 2013); 17 – *Digitali grandiflorae-Quercetum roboris* (Гончаренко, Коваленко 2019); 18 – *Carici praecocis-Quercetum roboris* (Гончаренко, Коваленко 2019); 19 – *Melampyro nemorosi-Carpinetum betuli* (Любченко та ін. 1997); 20 – *Aegonycho-Quercetum roboris* (Байрак 1996); 21 – *Violo hirtae-Quercetum roboris* (Воробйов та ін. 2017); 22 – *Vicio pisiformis-Quercetum roboris* (Семенищенков, Полуянов 2014); 23 – *Vicio pisiformis-Quercetum roboris* (Гончаренко и др. 2020); 24 – *Caragano fruticis-Aceretum tatarici* (Назаренко, Куземко 2011); 25 – *Fritillario ruthenicae-Quercetum roboris* (Онищенко та ін. 2007); 26 – *Scorzonero ensifoliae-Quercetum roboris* (Соколова 2011).

З табл. 13 також видно, що у межах союзу *Betonico officinalis-Quercion roboris* (кластер D) існують дві групи синтаксонів D1 і D2, ймовірно, рівня підсоюзів. У них спостерігаються значні екологічні відмінності, насамперед, за факторами кислотності і терморезиму.

Розділ 10. ФІТОЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТАКСОНІВ ЛІСОВОЇ РОСЛИННОСТІ М. КИЇВ ТА ОКОЛИЦЬ

За результатами класифікації лісової рослинності м. Київ і околиць масиву описів набору даних НД2 синтаксономічна схема нараховує 7 класів, 7 порядків, 8 союзів та 18 синтаксонів, у тому числі 8 асоціацій і 13 варіантів. Значний антропогенний вплив призводить до зростання середньої подібності описів і збільшення частки перехідних описів. Цим, зокрема, пояснюється вибір методу класифікації, який застосовувався нами – DRSA (розділ 1). Виділені синтаксони порівнювалися за видовим складом на основі матриці відстаней між синтаксонами Брея-Кьортіса (Bray, Curtis 1957) з використанням кластерного аналізу.

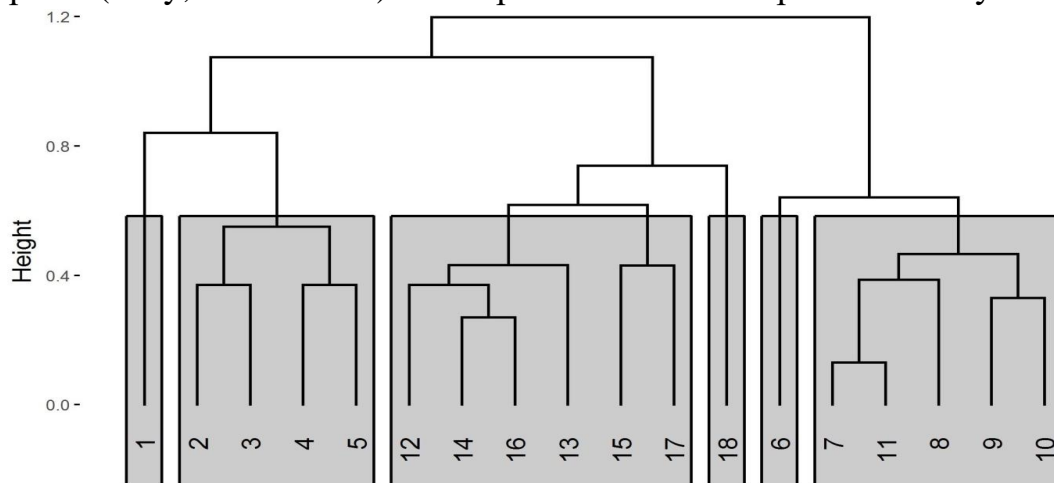


Рис. 9. Кластерний аналіз синтаксонів лісової рослинності м. Київ та околиць

Позначення синтаксонів: 1 – *Aristolochio clematitidis-Populetum nigrae*; 2, 3 – *Galio aparines-Aceretum negundi* var. *Aristolochia clematitidis* і *typicum*; 4, 5 – *Balloto nigrae-Robinetum* var. *Acer tataricum* і *typicum*; 6 – *Carici remotae-Fraxinetum excelsioris*; 7 – *Galeobdoloni-Carpinetum* var. *Acer campestre*, 8 – *G.-C.* var. *Prunus avium*, 9 – *G.-C.* var. *Mercurialis perennis*; 10 – *G.-C.* var. *Carex pilosa*; 11 – *Galeobdoloni-Carpinetum typicum*; 12 – *com. Acer platanoides+Lapsana communis*; 13 – *Dryopterido-Pinetum sylvestris* var. *Cardamine impatiens*; 14 – *D.-P.* var. *Fragaria vesca*; 15 – *D.-P.* var. *Carex ericetorum*; 16 – *D.-P. typicum*; 17 – *Chamaecytiso-Pinetum sylvestris*; 18 – *Polygonato odorati-Quercetum roboris*

Синтаксони формують декілька груп (рис. 9, сірі блоки). Чітко відмежувалися заплавні ліси (*Aristolochio clematitidis-Populetum nigrae*), антропогенні (*Galio aparines-Aceretum negundi* і *Balloto nigrae-Robinetum*), вільхово-ясеново-дубові вологі ліси неморального типу (*Carici remotae-Fraxinetum excelsioris*), ксеромезофітні дубові і мішані ліси (*Polygonato odorati-Quercetum roboris*). Диференціація синтаксонів широколистяних лісів (синтаксони 7–11) і ацидофільних мішаних (синтаксони 13–16) у межах кожної з цих груп є незначною і тому розглядається на рівні варіантів.

Для дослідження екологічної диференціації синтаксонів було використано аналіз відхилень фітоіндикаційних показників (табл. 14).

Стандартизовані відхилення фітоіндикаційних показників синтаксонів лісової рослинності м. Київ та околиць

синтаксон	клас	Hd	Rc	Tr	Nt	Lc	fH	Nv	Tm	Kn	sumsq	ranks
1	PUR	-0.03	0.06	0.15	-0.05	0.34	0.29	-0.06	-0.04	0.09	0.244	1
2	ROB	0.02	0.07	0.11	0.07	0.10	0.19	-0.19	0.04	0.00	0.105	9
3	ROB	0.02	0.03	0.15	0.21	0.01	0.06	-0.28	0.05	0.00	0.153	4
4	ROB	0.01	0.07	0.07	0.23	0.01	-0.01	-0.19	0.07	0.04	0.107	8
5	ROB	0.00	0.06	0.05	0.17	-0.08	-0.03	-0.20	0.09	-0.02	0.093	12
6	FAG	0.14	0.01	0.00	0.05	-0.22	-0.17	0.13	0.01	-0.11	0.129	5
7	FAG	0.00	0.06	0.01	0.07	-0.21	-0.11	0.14	0.02	-0.08	0.094	11
8	FAG	0.01	0.02	0.00	0.07	-0.10	-0.04	0.05	0.03	-0.03	0.023	15
9	FAG	0.04	0.02	-0.03	0.09	-0.27	-0.11	0.12	-0.02	-0.11	0.122	6
10	FAG	0.02	0.02	-0.01	0.04	-0.26	-0.11	0.15	0.01	-0.09	0.117	7
11	FAG	0.01	0.04	-0.01	0.08	-0.24	-0.10	0.14	0.01	-0.09	0.103	10
12	FAG	0.01	0.02	0.02	0.07	0.05	0.04	-0.10	0.01	0.03	0.020	16
13	QUE	0.00	-0.03	-0.07	-0.09	0.08	-0.02	-0.03	0.00	0.06	0.026	13
14	QUE	-0.01	-0.03	-0.06	-0.12	0.06	-0.03	-0.01	0.00	0.03	0.024	14
15	QUE	0.01	-0.04	-0.02	-0.04	0.00	0.00	-0.04	-0.04	0.02	0.008	18
16	QUE	0.01	-0.03	-0.04	-0.02	0.00	-0.02	-0.07	0.01	0.04	0.008	17
17	PIC	-0.03	-0.13	-0.04	-0.22	0.30	0.10	0.08	-0.09	0.07	0.188	3
18	PUB	-0.07	-0.10	-0.09	-0.27	0.28	0.04	0.13	-0.07	0.04	0.202	2
sumsq		0.031	0.056	0.087	0.320	0.619	0.215	0.333	0.035	0.073		
ranks		9	7	5	3	1	4	2	8	6		

Як видно з табл. 14, найбільші відхилення спостерігаються за світловим режимом, азотом ґрунтів, та факторами, що корелюють із рівнем антропогенного навантаження. Останній у м. Київ та у безпосередній близькості до нього є безумовно високим, але спостерігаються і суттєві коливання у залежності від місцевих умов: розташування відносно районів забудови; у заплаві чи на дніпровських островах; розмірів ділянок лісу; рельєфу, що впливає на транспортну доступність і кількість відвідувачів; наявність чи відсутність природоохоронного статусу у території.

Розділ 11. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ФІТОЦЕНОТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛУЧНОЇ РОСЛИННОСТІ СЕЙМУ ТА ДНІПРА (У МЕЖАХ ПОЛІССЯ)

Для класифікації лучної рослинності заплів Сейму та Дніпра використовувався метод DRSA, про який йшла мова у розділі 1. Частка описів перехідного характеру у лучній рослинності є також значною. У подібних випадках використання методу DRSA має переваги, оскільки дозволяє збільшити показники відмежованості синтаксонів і кількості діагностичних видів за рахунок оптимізації процедури бракування (розділ 1). За результатами проведеної класифікації було виділено 10 синтаксонів у межах класу *Molinio-Arrhenatheretea*, які належать до 3 порядків, 3 союзів, 8 асоціацій та 5 варіантів.

На рис. 10 показано дендрограму, одержану на основі аналізу подібності синтаксонів за флористичним складом. Виділяється три групи синтаксонів, які приблизно відповідають ієрархічному рівню порядків – кластери А (*Galietales veri*), В (*Arrhenatheretalia elatioris*) і С (*Molinietalia*) (рис. 10).

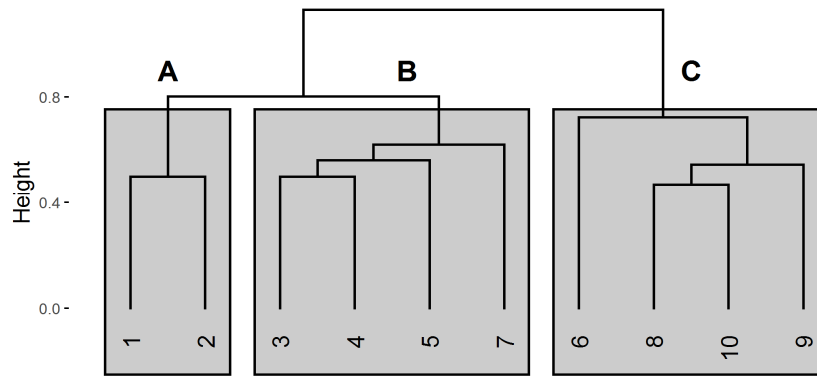


Рис. 10. Кластерний аналіз флористичної подібності синтаксонів лучної рослинності.

Позначення синтаксонів: 1 – *Eryngio plani-Bromopsietum inermis*, 2, 3 – *Koelerio-Agrostietum vinealis* var. *Asparagus officinalis* і var. *Ranunculus polyanthemos*; 4 – *Galio molluginis-Festucetum pratensis*; 5 – *Medicago lupulinae-Phleetum pratensis*; 6 – *Dactylorhizo-Caricetum nigrae*; 7 – *Veronici longifoliae-Iridetum sibirici*; 8 – *Poo trivialis-Alopecuretum arundinaceae*; 9, 10 – *Poo palustris-Alopecuretum pratensis* var. *Agrostis stolonifera* і var. *Scutellaria galericulata*

За даними аналізу відхилень (розділ 4) провідним фактором диференціації досліджених синтаксонів є вологість ґрунтів. Лучні синтаксони формують на градієнті цього фактору чіткий екологічний ряд, у якому синтаксони 1-5 і 7 мають негативні відхилення (стовпчики діаграм направлені вліво), а 6 і 8-10 додатні відхилення (табл. 15).

Таблиця 15

Стандартизовані відхилення фітоіндикаційних показників синтаксонів лучної рослинності заплав Дніпра і Сейму

синтаксон	порядок	Hd	Rc	Tr	Nt	Lc	fH	Nv	Tm	Kn	sumsq	ranks
1	GAL	-0.28	0.03	0.01	-0.24	0.04	0.04	0.00	0.00	0.07	0.144	1
2	GAL	-0.19	0.04	-0.05	-0.14	0.02	-0.06	0.04	-0.01	0.02	0.066	3
3	GAL	-0.10	0.00	0.00	-0.05	0.00	-0.03	-0.02	0.00	0.00	0.014	10
4	ARH	-0.10	-0.01	-0.03	-0.02	0.01	-0.02	-0.01	0.00	-0.06	0.015	9
5	ARH	-0.06	-0.03	-0.01	0.02	0.01	0.04	-0.12	0.04	-0.04	0.024	6
6	MOL	0.12	-0.06	-0.02	0.02	-0.03	0.00	-0.01	-0.05	-0.06	0.024	7
7	MOL	-0.01	0.02	-0.05	-0.03	0.00	-0.05	0.08	-0.04	-0.02	0.016	8
8	MOL	0.08	0.01	0.08	0.05	-0.01	0.07	-0.15	0.05	0.04	0.047	4
9	MOL	0.17	-0.02	0.00	-0.02	-0.01	0.03	0.06	-0.06	0.04	0.038	5
10	MOL	0.19	0.02	0.01	0.12	-0.01	-0.04	0.14	-0.02	0.04	0.073	2
sumsq		0.226	0.008	0.014	0.095	0.003	0.018	0.066	0.012	0.018		
ranks		1	8	6	2	9	5	3	7	4		

Порівнюючи напрямок і величину відхилень у факторів вологості і азоту можна спостерігати кореляцію між цими факторами, яка більш виражена у ксерофітних умовах. Пояснюється це тим, що асоціації *Eryngio plani-Bromopsietum inermis* і *Koelerio-Agrostietum vinealis* формуються на легких піщаних ґрунтах, де сполуки азоту у органічній формі майже не накопичуються. Відсутність значних відхилень (диференціації) за сольовим режимом і кислотністю пояснюється гумідним кліматом дослідженої території півдня лісової зони і формуванням угруповань у заплавах з відносно неглибоким заляганням ґрунтових вод.

ВИСНОВКИ

Проведено комплексну оцінку сучасних кількісних методів обробки фітоценотичних даних, їх порівняльний аналіз, виявлено переваги і недоліки окремих методів, а також здійснено апробацію нових методів на основі фітоценотичних даних різних типів рослинності і регіонів.

1. Розроблений метод класифікації рослинності DRSA за рахунок оптимізації процедури бракування перехідних описів дозволяє максимізувати показники відмежованості синтаксонів та кількості діагностичних видів і має переваги у порівнянні з традиційними методами при класифікації масивів даних із значною часткою описів перехідного характеру.
2. Порівняльний аналіз індексів вірності показав, що відмінності класифікацій діагностичних видів за різними індексами вірності зростають у випадку врахування значень проєктивного покриття видів і використання вирівняно-групових (корегованих, group-equalized) індексів. Застосування вирівняно-групових індексів збільшує відносну кількість діагностичних видів у фітоценотичних кластерів з меншою кількістю описів і не є виправданим у випадках дрібного (неоптимального) поділу за рахунок можливого потрапляння випадкових видів у діагностичні.
3. Запропонований збалансований (комбінований) критерій для визначення оптимальної кількості кластерів (синтаксонів) у даних має переваги у порівнянні із методикою Optimclass, оскільки ґрунтується на врахуванні різних геометричних (дистанційних) і флористичних критеріїв якості фітоценотичної класифікації, а також різних індексів валідації кластерного поділу. Використання цього підходу має переваги особливо у випадках, коли кластери (синтаксони) є нечіткими, тобто мають значну флористичну подібність, і застосування одного індексу оцінки якості поділу стає ненадійним.
4. Проведено апробацію різних методів, що застосовуються при обробці даних фітоіндикації (дисперсійний аналіз, дерева класифікації, кореляційно-регресійний аналіз зв'язку екофакторів з вісями ординації) і запропоновано новий підхід – "аналіз відхилень". Його особливістю є аналіз екологічної диференціації синтаксонів на основі стандартизованих значень фітоіндикації, що забезпечує порівнюваність оцінок для факторів з різною кількістю балів і дозволяє оцінювати одночасно ступінь диференціації синтаксонів, напрямок дії і кореляції екофакторів.
5. Доведено високу ефективність використання шкали природності А. Борхіді для оцінки ступеня антропогенної трансформації рослинності, а також співвідношень діагностичних видів різних класів Браун-Бланке, частки адвентивних видів і співвідношень видів за типами екологічних стратегій Дж. Грайма. Найбільш ґрунтовним є комплексний підхід з урахуванням усіх зазначених показників, оскільки він враховує неоднакову стійкість рослин різних життєвих форм і стратегій, різні прояви антропогенної трансформації і необхідність застосування різних принципів оцінки для початкових дигресивних стадій і сильно трансформованої рослинності.
6. На основі апробації методики фітосоціологічного спектру встановлено, що найбільш перспективним цей підхід є у випадках дослідження екотонної

рослинності, а також з переважанням угруповань, де відсутні характерні види синтаксонів нижчого рангу. Встановлено, що врахування часток трьох перших переважаючих за кількістю видів класів рослинності у видовому складі синтаксонів є достатньо репрезентативним, оскільки відображає приблизно 80% їх загального флористичного складу.

7. Проведено синтаксономічну ревізію ксеромезофітних дубових лісів помірної зони Європи та виділено 6 груп синтаксонів за флористичними та 4 типи (PUB-термофільний, QUE-ацидофільний, FAG-нейтрофільний і BRA-кріоксерофітний) за екологічними критеріями. Описано два нові для науки союзи східноєвропейських ксеромезофітних дубових лісів – *Betonicio officinalis-Quercion roboris* (лісова та лісостепова зона) та *Scutellario altissimae-Quercion roboris* (лісостепова і степова зона).
8. Проведено оцінку впливу кліматичних факторів на диференціацію синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів з використанням біокліматичних змінних (Wordclim/Bioclim). Встановлено, що провідними кліматичними чинниками для цього типу рослинності є ізотермічність (bio3) та температурна сезонність (bio4), які є складовими континентальності клімату, а також мінімальна температура найхолоднішого місяця (bio6) і середня температура найхолоднішого кварталу (bio11), що характеризують кріорежим. Останній відіграє роль лімітуючого фактору у відношенні термофільних видів і зумовлює їх заміщення у видовому складі синтаксонів ксеромезофітних дубових лісів степовими видами (континентальними, морозостійкими).
9. У результаті апробації методів класифікації (метод DRSA), ординації та фітоіндикації (аналіз відхилень) досліджено синтаксономічну різноманітність і провідні фактори екологічної диференціації лісової рослинності м. Київ та околиць. За результатами класифікації синтаксономічна схема рослинності нараховує 7 класів, 7 порядків, 8 союзів, 8 асоціацій і 13 варіантів. Встановлено, що провідними факторами диференціації виділених синтаксонів є світловий режим, вміст азоту та рівень антропогенного навантаження. Дія антропогенного фактору призводить до зростання середньої подібності описів і до збільшення частки перехідних описів у даних. У подібних випадках застосування методу DRSA має переваги у порівнянні з традиційними методами класифікації рослинності.
10. З використанням методу DRSA проведено класифікацію лучної рослинності заплави Сейму та Дніпра і виділено у межах класу *Molinio-Arrhenatheretea* 3 порядки, 3 союзи, 8 асоціацій та 5 варіантів. Враховуючи, що описи лучної рослинності мають значну середню подібність за видовим складом, застосування методу DRSA має переваги у порівнянні з традиційними методами, оскільки дозволяє підвищити показники відмежованості (чіткості) синтаксонів. Оскільки у видовому складі досліджених лучних синтаксонів, крім видів основного (*Molinio-Arrhenatheretea*) класу, значною є участь (до 30%) видів інших класів, зокрема *Koelerio-Corynephoretea*, *Trifolio-Geranietea*, *Phragmiti-Magnocaricetea* та ін., для інтерпретації синтаксонів важливим додатковим критерієм є використання їх співвідношень, тобто методики фітосоціологічного спектру.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. **Гончаренко** І.В. Принципи побудови і ревізії макросинтаксономічної системи. Суми: СумДПУ, 2007. 141 с. ISBN 966-698-087-8.
2. **Гончаренко** І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження. Дніпро: Вид-во Середняк, 2017. 127 с. ISBN 978-617-7479-74-0.

Авторські свідоцтва

3. **Гончаренко** І.В. А.с. 58837 DRSA (Distance-Ranked Sorting Assembling) – метод сортуючого кластерного аналізу. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюл. № 36. 26.02.2015.

Статті у закордонних виданнях, проіндексованих у базах Web of Science CoreCollection та/або Scopus

4. **Goncharenko** I., Kovalenko O. Oak forests of the class *Quercetea pubescentis* in Central-Eastern Ukraine. *Thaiszia - Journal of Botany*. 2019. Vol. 29, № 2. P. 191–215.
5. **Goncharenko** I.V., Semenishchenkov Yu.A., Tsakalos J.L., Mucina L. Thermophilous oak forests of the steppe and forest-steppe zones of Ukraine and Western Russia. *Biologia*. 2020. Vol. 75, № 3. P. 337–353.
6. **Goncharenko** I.V., Kozyr M.S., Senchylo O.O. Classification of the floodplain meadows of the Seym and the Dnieper river valleys in the north-eastern part of Ukraine. *Biologia*. 2020. Vol. 75, № 1. P. 53–70.
7. **Goncharenko** I.V., Senchylo O.O. The study of fidelity measures in the context of using them as a threshold criterion in the allocation of diagnostic species. *Ecologica Montenegrina*. 2020. Vol. 30. P. 28–36.
8. **Goncharenko** I.V., Yatsenko H.M. Phytosociological study of the forest vegetation of Kyiv urban area (Ukraine). *Hacquetia*. 2020. Vol. 19, № 1. P. 99–126.
9. Churilov A., **Goncharenko** I., Kravchenko O., Kovalevskyi S. B., Marchuk Y., Maevskyi K., Kovalevskyi S., Marchuk O., Shevchuk M., Dubchak M. Phytoindicative assessment and analysis of vegetation in disturbed areas after illegal amber mining in the Western Polissya of Ukraine. *Forestry ideas*. 2020. Vol. 26, № 1. P. 191–208.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав із напряму, з якогопідготовлено дисертацію

10. **Гончаренко** И.В. DRSA: алгоритм неиерархической кластеризации с использованием K-NN графа и его применение в классификации растительности. *Растительность России*. 2015. Вып. 27. С. 125–138.
11. **Гончаренко** И.В., Голик Г.Н. Классификация и фитоэкологическая оценка лесопарковой растительности г. Киев. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2015. Вып. 9, № 4. С. 129–158.

Статті у фахових виданнях України

12. **Гончаренко** І.В. Розпізнавання синтаксономічної належності фітоценозів за фітоіндикаційними даними. *Екологія та ноосферологія*. 2002. Вип. 12, № 3–4. С. 41–46.
13. **Гончаренко** І.В., Дідух Я.П. Поняття про загальну та мінімальну екологічну амплітуду синтаксонів. *Наукові записки НАУКМА: Сер. Біологія та екологія*. 2002. Вип. 20. С. 57–61.

14. **Гончаренко І.В.** Умови зростання широколистяних лісів на різних типах рельєфу Лівобережного Лісостепу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Сер. Біологія.* 2002. Вип. 38. С. 41–43.
15. **Гончаренко І.В.** Інтерпретація факторної моделі в фітоценології з використанням даних фітоіндикації. *Питання біоіндикації та екології.* 2002. Вип. 7, № 2–3. С. 17–25.
16. **Гончаренко І.В.** Фітоіндикаційний моніторинг рослинності (загальна концепція). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка: Сер. Біологія.* 2002. Вип. 4, № 19. С. 5–9.
17. **Гончаренко І.В., Дідух Я.П.** Метод Браун-Бланке: історія та сучасні тенденції. *Наукові записки НАУКМА: Сер. Біологія та екологія.* 2003. Вип. 21. С. 82–91.
18. **Гончаренко І.В.** Визначення асоціацій в дискримінантному аналізі. *Науковий вісник Ужгородського університету: Сер. Біологія.* 2003. Вип. 12. С. 22–26.
19. **Гончаренко І.В.** Використання центроїдного методу в ординації угруповань. *Вісник Донець. ун-ту: Сер. А. Природн. науки.* 2003. Вип. 1. С. 281–287.
20. **Гончаренко І.В., Дідух Я.П.** Моделирование потенциального флористического состава растительных сообществ. *Вісник Донець. ун-ту: Сер. А. Природн. науки.* 2004. Вип. 1. С. 429–441.
21. **Гончаренко І.В.** Метод оцінки репрезентативності видового складу синтаксонів. *Укр. ботан. журн.* 2004. Вип. 61, № 1. С. 124–132.
22. **Гончаренко І.В.** Класифікація болотних екосистем Лівобережного Лісостепу. *Вісник Запорізького національного університету: Сер. Біологічні науки.* 2006. Вип. 1. С. 39–56.
23. **Гончаренко І.В.** Новый метод отбора информативных видов в классификации Браун-Бланке. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна: Сер. Біологія.* 2007. Вип. 5, № 768. С. 116–120.
24. **Гончаренко І.В.** Фитоценологическое разнообразие на эдафических градиентах. *Промышленная ботаника.* 2007. Вип. 7. С. 119–127.
25. **Гончаренко І.В.** Використання методів нечіткої логіки в класифікації рослинності. *Вісник Донець. ун-ту: Сер. А. Природн. науки.* 2007. Вип. 1. С. 236–247.
26. **Гончаренко І.В.** Модульна організація баз даних для цілей фітоценологічного аналізу. *Екологія та ноосферологія.* 2008. Вип. 19, № 1–2. С. 31–44.
27. **Гончаренко І.В.** Виділення геоелементів на основі кількісних критеріїв. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету: Сер. Біологія.* 2008. Вип. 1, № 35. С. 7–15.
28. **Сенчило О.О., Гончаренко І.В.** Методологія характеристики синтаксонів як багатопараметричних систем. *Вісн. Донець. ун-ту: Сер. А. Природн. науки.* 2008. Вип. 2. С. 344–357.
29. **Гончаренко І.В.** Синтаксономічний та географічний аналіз лучної рослинності Лівобережного Лісостепу (вологі та мезофітні луки). *Вісн. Донець. ун-ту: Сер. А. Природн. науки.* 2009. Вип. 1. С. 346–360.
30. **Гончаренко І.В.** Оценки флористического сходства классов Браун-Бланке. *Природничий альманах: Сер. Біологічні науки.* 2009. Вип. 12. С. 37–46.
31. **Гончаренко І.В., Сенчило О.О., Дідух Я.П.** Методика кількісної оцінки

- фітоценозів за фітосоціологічним спектром. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2013. Вип. 9, № 4. С. 485–496.
32. **Гончаренко І.В.**, Ігнатюк О.А., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Лісова рослинність урочища Феофанія та її антропогенна трансформація. *Екологія та ноосферологія*. 2013. Вип. 24, № 3–4. С. 51–63.
33. **Гончаренко І.В.**, Голик Г.М. Екологічний аналіз місцезростань лісової рослинності парків "Нивки" та "Теремки" м. Києва. *Екологія та ноосферологія*. 2014. Вип. 26, № 3–4. С. 53–68.
34. **Гончаренко І.В.** Метод "сортуючої" кластеризації (DRSA) для класифікації рослинності. *Доповіді НАН України*. 2015. Вип. 9. С. 129–136.
35. **Гончаренко І.В.** Оцінка якості фітоценотичної класифікації (теоретико-методичний аспект). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2016. Вип. 12, № 1. С. 41–50.
36. **Гончаренко І.В.** Застосування методу DRSA – непараметричного кластерного аналізу в класифікації рослинності. *Укр. ботан. журн.* 2016. Вип. 73, № 6. С. 568–578.
37. **Голик Г.М.**, **Гончаренко І.В.** Синтаксономія деревної рослинності м. Київ, її синфітоіндикаційний аналіз та антропогенна трансформація. *Екологія та ноосферологія*. 2017. Вип. 28, № 1–2. С. 49–63.

Статті в інших виданнях

38. **Гончаренко І.В.** Градієнтний аналіз синтаксономічних амплітуд. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету: Сер. Біологічні науки*. 2002. Вип. 21, № 33. С. 3–8.
39. **Гончаренко І.В.** Рослинність заказника "Підліснівський" та її фітоіндикаційний аналіз. *Український фітоценотичний збірник: Сер. С. Фітоекологія*. 2003. Вип. 1, № 20. С. 98–102.
40. **Гончаренко І.В.** Методичні аспекти еколого-флористичної класифікації. *Зб. праць Сумського держ. педагог. ін-ту: Сер. Природничі науки*. 2003. Вип. 2. С. 56–67.
41. **Гончаренко І.В.** Екологічна диференціація ценофлор класу *Molinio-Arrhenatheretea* на рівні союзів. *Наукові записки Сумського державного педагогічного університету*. 2005. Вип. 1. С. 64–86.

Матеріали і тези конференцій

42. **Гончаренко І.В.** Вимірювання відстаней в екологічному просторі та класифікація фітоценозів. *Мат-ли конф. "Проблеми сучасної екології" (Запоріжжя, 24-26 червня 2002)*. Запоріжжя, 2002. С. 42.
43. **Гончаренко І.В.** Кількісні закономірності зміни видового складу синтаксонів. *Мат-ли конф. "Ю.Д. Клеопов та сучасна ботанічна наука" (Київ, 10-13 листопада 2002)*. Київ, 2002. С. 89–93.
44. **Гончаренко І.В.** Поняття про ценотичну диференціацію та її аналіз. *Мат-ли конф. "Актуальні проблеми флористики, систематики, екології та збереження фіторізноманіття" (Львів, 6-10 серпня 2002)*. Львів, 2002. С. 70–72.
45. **Гончаренко І.В.** Аналіз асоційованості видового складу фітоценозів (на прикладі хвойно-лесних і лугових сообществ). *Мат-ли конф. "Рослинність хвойних лісів України" (Київ, листопад 2003)*. Київ, 2003. С. 185–199.

46. **Гончаренко І.В.** Флористичний аналіз геоботанічних одиниць – ценофлора. *Мат-ли конф. "Актуальні проблеми дослідження та збереження фіторізноманіття"* (Умань, 6-9 вересня 2005). Київ, 2005. С. 83–84.
47. **Гончаренко І.В.** Оцінка екології рослинних угруповань за фітоценотичним спектром. *Мат-ли конф. "Сучасні проблеми екології"* (Запоріжжя, 28 - 30 вересня 2005). Запоріжжя, 2005. С. 90–93.
48. **Гончаренко І.В.** Екологічні шкали терморезиму та континентальності домінантів Лівобережного Полісся та Лісостепу. *Мат-ли конф. "Наукова спадщина академіка М.М. Гришка"* (Глухів, 12-13 квітня 2005). Глухів, 2005. С. 54–56.
49. **Гончаренко І.В.** Універсалізація номенклатури та класифікації рослинності на основі геоекологічних кодів. *Мат-ли конф. "Актуальні проблеми ботаніки та екології"* (Київ, 17-20 вересня 2007). Київ, 2007. С. 136–137.
50. **Гончаренко І.В.** Завдання кількісних та флористичних підходів у фітоценології. *Мат-ли конф. "Сучасні проблеми біології, екології та хімії"* (Запоріжжя, 29 березня - 01 квітня 2007). Запоріжжя, 2007. С. 22–25.
51. **Гончаренко І.В.** Синтаксономический состав некоторых ценофлор Левобережной Лесостепи Украины. *Мат-ли конф. "Актуальні проблеми ботаніки та екології"* (Кременець, 11-15 серпня 2009). Тернопіль, 2009. С. 104–105.
52. **Гончаренко І.В.** Получение минимальной выборочной совокупности геоботанических описаний. *Мат-ли конф. "V ботанічні читання пам'яті Й. К. Пачоського"* (Херсон, 28 вересня - 1 жовтня 2009). Херсон, 2009. С. 62–63.
53. **Гончаренко І.В.** Рідкісні угруповання рослинності у північній частині Лівобережного Лісостепу України. *Мат-ли конф. "Наукові основи збереження біотичної різноманітності"* (Львів, 1-2 жовтня 2009). Львів, 2009. С. 64–66.
54. **Гончаренко І.В.** Екологічний аналіз місцезростань широколистяних лісів урочища Феофанія. *Мат-ли конф. "Биоразнообразие и устойчивое развитие"* (Сімферополь, 15-19 вересня 2014). Сімферополь, 2014. С. 89–91.
55. **Гончаренко І.В.** Фітоіндикаційні оцінки у алгоритмах машинного навчання (на прикладі дерев класифікації у середовищі R). *Мат-ли конф. "XIV з'їзд Українського ботанічного товариства"* (Київ, 25–26 квітня 2017). Київ, 2017. С. 39.
56. **Гончаренко І.В.** Переваги використання методу сортуючої кластеризації (DRSA) в класифікації рослинності. *Мат-ли конф. "Класифікація рослинності та біотопів України як наукова основа збереження біорізноманіття"* (Київ, 14-15 березня 2016). Київ, 2017. С. 38–45.
57. **Goncharenko I.V.** Bioclimatic envelopes of ten European tree species. *Natural sciences: History, the present time, the future* (Wrocław, Republic of Poland, September 27-28, 2019). Wrocław: Cuiavian University in Wrocław, 2019. С. 71–75.
58. **Гончаренко І.В.** Оцінка кореляції фітоценотичних класифікацій з використанням різних методів кластерного аналізу. *Класифікація рослинності та біотопів України: Мат-ли IV науково-теоретичної конференції* (Київ, 25-26 березня 2020 р.). Київ, 2020. С. 27–34.

АНОТАЦІЯ

Гончаренко І.В. Кількісні методи дослідження різноманітності, структури і антропогенної трансформації рослинності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.05. – Ботаніка. – Державна установа "Інститут еволюційної екології НАН України", Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ, 2021.

Робота присвячена аналізу кількісних методів, що застосовуються на усіх етапах обробки фітоценотичних даних, зокрема у класифікації, ординації, фітоіндикації і для оцінки антропогенної трансформації рослинності. Порівняльний аналіз методів і апробація нових підходів проведені на п'яти модельних наборах даних з різних регіонів і типів рослинності. Розроблено новий метод класифікації рослинності DRSA, проаналізовані 11 коефіцієнтів вірності видів, а також індекси оцінки якості фітоценотичної класифікації. У фітоіндикації запропоновано метод "аналізу відхилень", проаналізовані можливості дисперсійного аналізу і дерев класифікації. Проведено синтаксономічну ревізію і описано два нові союзи *Betonicos officinalis-Quercion roboris* і *Scutellario altissimae-Quercion roboris* ксеромезофітних дубових лісів на основі порівняльного аналізу 45 синтаксонів помірної зони Європи. Подано їх екологічний і географічний аналіз, аналіз фітосоціологічної і ярусної структури. Проведено класифікацію, фітоіндикаційний, ординаційний, фітосоціологічний аналіз, оцінку антропогенної трансформації, подано характеристику синтаксонів лісової рослинності м. Київ та околиць, лучної рослинності заплави Сейму та Дніпра у межах Лівобережного Полісся.

Ключові слова: фітоценологія, кількісні методи, класифікація рослинності, ординація, фітоіндикація, антропогенна трансформація

АННОТАЦИЯ

Гончаренко И.В. Количественные методы исследования разнообразия, структуры и антропогенной трансформации растительности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.05. – Ботаника. – Государственное учреждение "Институт эволюционной экологии НАН Украины", Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, Киев – 2021.

Работа посвящена анализу количественных методов основных этапов обработки фитоценотических данных, в частности классификации, ординации, фитоиндикации и оценки антропогенной трансформации растительности. Анализ различных количественных методов и апробация новых подходов проведены на пяти модельных наборах данных из различных регионов и типов растительности. Разработан новый метод классификации растительности DRSA, Distance-Ranked Sorting Assembling. Его особенностью является оптимизация процедуры обнаружения и исключения описаний переходного характера, за счет чего увеличиваются показатели обособленности синтаксонов и количества диагностических видов. Проанализированы 11 индексов верности и сформулированы

критерии их выбора с точки зрения использования для классификации диагностических видов. Проведена оценка корреляции классификаций диагностических видов с использованием различных индексов верности и с учетом проективного покрытия видов. Сформулированы рекомендации в отношении использования выравненно-групповых (корректированных, group-equalized) индексов верности. Предложен новый подход на основе сбалансированного (комбинированного) критерия для определения оптимального количества кластеров / синтаксонов в наборах данных с учетом 9 геометрических и 6 флористических индексов оценки качества (валидации) фитоценотической классификации. В методике фитоиндикации предложен новый подход "анализа отклонений", который основывается на сравнении стандартизированных отклонений фитоиндикационных оценок синтаксонов и обеспечивает сравнимость оценок между факторами с различным количеством баллов в шкалах. Проанализированы возможности использования метода деревьев классификации для многоуровневого моделирования экологической дифференциации растительности. Проведен сравнительный анализ шкал отношения растений к антропогенному фактору – гемеробии, урбанитета, индекса природности. На примере лесной растительности г. Киев и окрестностей разработана классификация и установлены ключевые признаки основных стадий антропогенной трансформации. Предложено использовать нормированные индексы соотношений геофиты / терофиты, а также конкуренты / рудералы и стресс-толеранты / рудералы в видовом составе синтаксонов для оценки степени антропогенной трансформации растительности. Проанализированы возможности методики фитосоциологического спектра и показаны ее преимущества при исследовании экотонной растительности и сообществ, где отсутствуют характерные виды низших синтаксономических единиц. Проведена синтаксономическая ревизия и описаны два новых союза ксеромезофитных дубовых лесов восточно-европейской провинции – *Betonico officinalis-Quercion roboris* и *Scutellario altissimae-Quercion roboris*. Сравнительный анализ 45 синтаксонов ксеромезофитных дубовых лесов Центральной и Восточной Европы проведен на основании количественных критериев с учетом константности видов. Представлены результаты фитоиндикационной оценки, специфики климатических показателей и распределений видов наивысшей встречаемости основных ярусов у синтаксонов из различных регионов Европы. Установлены региональные дифференциальные виды центрально-, восточноевропейской и южно-уральской групп ксеромезофитных дубовых лесов. Проведена классификация, фитоиндикационный, ординационный, фитосоциологический анализ и дана фитоценотическая характеристика синтаксонов лесной растительности г. Киев и окрестностей, а также луговой растительности пойм Днепра и Сейма (в пределах Левобережного Полесья), которые использовались в качестве модельных при апробации различных количественных методов.

Ключевые слова: фитоценология, количественные методы, классификация растительности, ординация, фитоиндикация, антропогенная трансформация

SUMMARY

Goncharenko I.V. Quantitative methods for studying diversity, structure and anthropogenic transformation of vegetation. – Manuscript.

Thesis for Doctor of Science Degree in Biology, speciality 03.00.05 – Botany. – State Institution "Institute for evolutionary ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine", M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the analysis of quantitative methods used on all stages of phytocoenotic data processing, in particular classification, ordination, phytoindication and assessment of anthropogenic transformation of vegetation. Comparative analysis of methods and testing of new approaches were conducted on five data sets from different regions and of different types of vegetation. A new method of vegetation classification DRSA was developed. We compared and analyzed 11 species fidelity coefficients, as well as the quality partitioning indices in relation to vegetation classification approach. A method of "deviation analysis" was introduced. We have also studied the possibilities of ANOVA analysis and classification trees in phytoindication. The syntaxonomic revision was carried out and two new alliances *Betonico officinalis-Quercion roboris* and *Scutellario altissimae-Quercion roboris* of xeromesophytic oak forests were described on the basis of comparative analysis of 45 syntaxa within the temperate zone of Europe. Their ecological and geographical analysis, analysis of sociological structure and species of the highest occurrence of all community layers are presented. Classification, phytoindication, ordination, phytosociological analysis, assessment of anthropogenic transformation, characterization of syntaxa of forest vegetation of Kyiv and environs, as well as meadow floodplain vegetation of the Dnieper and Seym rivers within the Left-Bank Polissya was carried out.

Keywords: *phytocoenology, quantitative methods, classification of vegetation, ordination, phytoindication, anthropogenic transformation*