

ЕКОЛОГІЧНА БОТАНІКА

УДК 581.526+519.237

І.В. Гончаренко

РОЗПІЗНАВАННЯ СИНТАКСОНОМІЧНОЇ НАЛЕЖНОСТІ ФІТОЦЕНОЗІВ ЗА ФІТОІНДИКАЦІЙНИМИ ДАНИМИ

И.В. Гончаренко

Сумской государственной педагогической университет им. А.С.Макаренка

РАСПОЗНАВАНИЕ СИНТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ФИТОЦЕНОЗОВ ПО ФИТОИНДИКАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Анализируются возможности применения в фитоценологии дискриминантного анализа для синтаксономической классификации по данным геоботанической индикации. Классифицированы фитоценозы лесной растительности классов *Quercus-Fagetum* и *Vaccinio-Piceetum* северо-восточной части Левобережной Лесостепи Украины с использованием в моделях показателей кислотности, влажности, солевого режима, содержания азота и карбонатов в почве. Рассматриваются вопросы оценки надежности распознавания фитоценозов с учетом определенного экофактора и надежности классификации отдельных ассоциаций через совокупность экологических данных, определения меры тяготения конкретных фитоценозов по отношению к ближайшему синтаксону.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, фитоиндикация, классификация.

I.V. Goncharenko

A.S. Makarenko Sumy Pedagogical State University

RECOGNITION OF SYNTAXONOMIC BELONGING OF PHYTOCOENOSES BY THE ESTIMATIONS OF PLANT INDICATOR METHOD

Possibilities of application in phytocoenology of the discriminant analysis for realization of syntaxonomic classification according to geobotanical indication are analyzed. Classification of forest phytocoenoses of classes *Quercus-Fagetum* and *Vaccinio-Piceetum* from the northeast part of Left-bank Forest-steppe of Ukraine with the count of the plant indicator data by acidity, humidity, a salt mode, the maintenance of nitrogen and carbonates in bedrock in model is carried out. Questions of an assessment of reliability of recognition of phytocoenoses with the count by certain ecological factor and reliability of classification of separate associations through set of the ecological data, definition of a measure of gravitation of concrete phytocoenoses in relation to the nearest syntaxon are considered.

Key words: plant indicator method, ecological profile, discriminant analysis, classification.

З появою ЕОМ кількісні методи все частіше використовуються для аналізу фітоценологічних даних – від розрахунків найпростіших коефіцієнтів подібності до складної процедури факторного аналізу. Багатовимірні методи математичної статистики найбільш адекватно відповідають структурі об'єкта фітоценології, тому вони, зокрема факторний та кластерний аналіз, виявилися придатними для аналізу рослинності (Злобин, 1974; Миркин, Розенберг, 1977; Миркин, Розенберг, 1979; Салтыковская и др., 1999).

У даній статті ми покажемо можливості використання для цілей фітоценології ще одного з методів цієї групи – дискримінантного аналізу. Цей метод застосовується в даній галузі значно рідше, ніж два попередні, хоча з метою таксономічної класифікації біологічних об'єктів ним скористувався Р. Фішер ще в 1936 р. Пріоритет апробації у фітоценології теорії розпізнавання за даними геоботанічної індикації належить Уфимській школі кількісної геоботаніки (Дыренков, Самусенко, 1974; Карпов, Розенберг, 1975; Розенберг, 1975; Розенберг, 1976). Дискримінантний аналіз – це лінійний метод розпізнавання даних з навчанням, який використовується для віднесення некласифікованих об'єктів до попередньо виділених груп (кластерів) (Клекка, 1989). Тому в дискримінантному аналізі, на відміну від кластерного, попередньо необхідно задати приналежність певної кількості об'єктів (навчальної вибірки) до окремих груп. У цьому й полягає процес навчання, у ході якого передається вихідна інформація про характер груп. Це потребує попередньої (апріорної) автоматичної або емпіричної класифікації, на основі якої створюється певні правила класифікації об'єктів між цими групами, тобто правила апостеріорної класифікації, за якими здійснюється розподіл нових об'єктів даної сукупності.

© Гончаренко І.В., 2002

Критерієм для віднесення нового об'єкта до виділених кластерів є максимізація класифікаційних функцій. Останні є лінійною комбінацією дискримінантних змінних або характеристик, що описують об'єкт у багатовимірному просторі: $F_k = c_0 + \sum_{i=1}^p c_i * x_i$, де F_k – значення класифікаційної функції для k -класу (групи); x_i – дискримінантна змінна (характеристика); p – їх кількість, використана у процедурі класифікації; c_i – коефіцієнт пропорційності, одержаний емпірично для певного класу.

Таким чином, розташування k класів у просторі p дискримінантних змінних описується системою k рівнянь наведеного вигляду. Визначення коефіцієнтів c_i для кожної характеристики x_i становить важливу частину дискримінантного аналізу. Ці коефіцієнти розраховуються так, щоб значення F_k у різних класів якнайбільше відрізнялися одне від одного, від чого залежить точність класифікації нового об'єкта. Тоді критерієм віднесення до певного класу (групи) нового об'єкта, що описується значеннями x_i , є максимізація класифікаційної функції F_k .

У дискримінантному аналізі використовується ряд допоміжних статистик. Якщо зобразити об'єкти у вигляді поля точок у просторі дискримінантних змінних, то ступінь тяжіння нового об'єкта до центрів кожної з груп можна визначити користуючись різноманітними дистанційними мірами подібності, зокрема відстанню Махаланобіса (D_M). Вклад кожної з дискримінантних змінних у розв'язанні задачі класифікації оцінюється (λ), яка змінюється від 1 (максимальна дискримінація) до 0 (класи збігаються). Чим більше значення λ для відповідної змінної x_i , тим більший ступінь перекривання розподілів значень цієї змінної у різних групах, відповідно застосування статистики Уїлкса до класифікації нового об'єкта не гарантує точного віднесення його до однієї з груп. Застосовуючи до об'єктів навчальної групи з відомою класифікаційною приналежністю одержану дискримінантну модель, можемо оцінити її якість (надійність) відношенням кількості об'єктів вірно класифікованих з допомогою моделі до вихідної кількості цих об'єктів у кожній групі.

Згідно з алгоритмом дискримінантного аналізу, в даній роботі ми ставили за мету знайти систему рівнянь, що описують положення синтаксонів через змінні, якими є фітоіндикаційні дані. Користуючись цими даними можна віднести певний фітоценоз до виділених раніше синтаксонів, або кластерів (k). У такому аналізі не ставиться питання щодо природності самих кластерів, і попередньо їх виділення ми проводили за результатами методу Браун-Бланке. Завдання дискримінантного аналізу полягає в тому, щоб оцінюючи параметри (дані індикації) еталонних об'єктів (синтаксонів) у процесі навчання, виробити щодо цих параметрів певні правила класифікації, які дозволять здійснювати класифікацію нових об'єктів (фітоценозів). Отже, навчальною вибіркою є масив фітоіндикаційних даних, розрахованих на описи з відомою синтаксономічною приналежністю, а кожен з екофакторів виступає як дискримінантна змінна. Точність процесу розпізнавання залежить від того, наскільки вдало було проведено поділ об'єктів на кластери в апріорній класифікації (Браун-Бланке), результати якої було застосовано у процесі навчання, і наскільки вагомими в розподілі об'єктів між кластерами є параметри розпізнавання (екофактори).

Для аналізу нами використаний масив описів, виконаних 2001 р. на екологічному профілі через ділянку лісового масиву на боровій терасі р. Псел південніше с. Низи Сумського району (рис. 1). Профіль загальною довжиною приблизно 5100 м закладений від русла р. Псел через квартали № 27-40 Низівського лісництва Сумської області до розораних під сільськогосподарські угіддя верхніх терас долини річки. Гіпсометрична поверхня профілю побудована наближено (на око), де коливання висот, як правило, не перевищують 10 м. На профілі виконано 54 геоботанічні описи, за флористичним складом яких розраховано фітоіндикаційні показники (Дідух, Плюта, 1994) кислотності (Rc), сольового режиму (Tr), вологості (Hd), вмісту мінерального азоту (Nt) та карбонатів (Ca) у ґрунтах. Ці екофактори використано як параметри розпізнавання синтаксономічної приналежності фітоценозів профілю.

На першому етапі дослідження в процесі навчання попередньо були використані фітоіндикаційні оцінки фітоценозів синтаксонів, виділених раніше в Сумському геоботанічному окрузі при створенні схеми флористичної класифікації рослинності за системою Браун-Бланке.

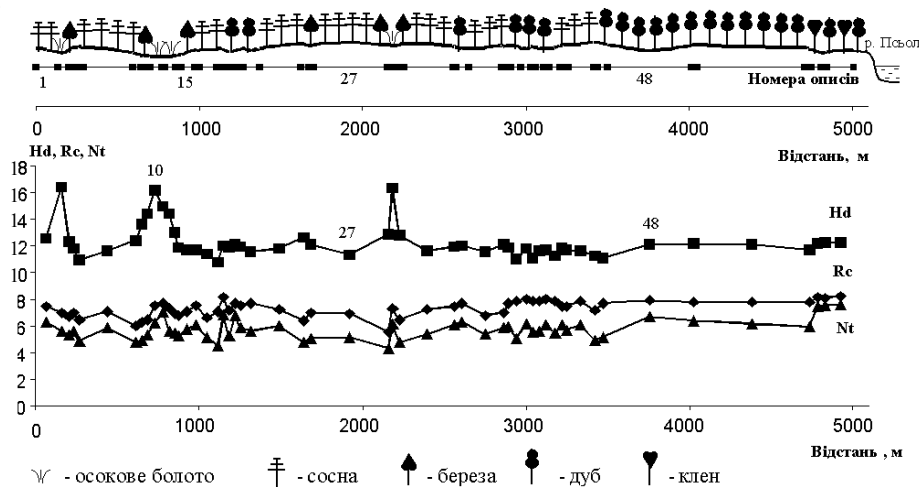


Рис. 1. Досліджений екологічний профіль та класифікація його описів за даними фітоіндикації

Примітка: Видовий епітет звичайних домінантів наводиться при першому згадуванні. У квадратних дужках поряд з номером опису вказано приналежність до флористичних асоціацій, встановлену в ході розпізнавання (номери останніх згідно з фрагментом синтаксономічної схеми див. у тексті). 1) [4] *Pinus sylvestris*–*Rubus idaeus*, 2) *Carex elata*+*C. vesicaria*, 3) [7] *Betula pendula*–*Convallaria majalis*, 4) [7] *Pinus*–*Frangula*–*Poa nemoralis*–*Pleurozium schreberi*, 5) [7] *Pinus*–*Calamagrostis epigeios*, 6) [7] *Pinus*–*Sambucus racemosa*–*Convallaria*–*Pleurozium*, 7) [8] *Pinus*–*Frangula*–*Molinia caerulea*–*Vaccinium myrtillus*, 8) [6] *Betula*–*Frangula*–*Deschampsia caespitosa*, 9) *Salix cinerea*–*Calamagrostis canescens*, 10) *Juncus effusus*+*Carex pseudocyperus*, 11) *Carex pseudocyperus*–*Alopecurus aequalis*, 12) *Salix cinerea*–*Calamagrostis canescens*, 13) *Betula pendula*–*Deschampsia caespitosa*, 14) [7] *Betula*–*Frangula*–*Agrostis tenuis*, 15, 17) [7] *Pinus*–*Frangula*–*Convallaria*, 16) [4] *Pinus*–*Frangula*–*Convallaria*, 18) [5] *Pinus*–*Euonymus verrucosa*–*Calamagrostis epigeios*, 19) [3] *Quercus robur*–*Padus avium*–*Aegopodium podagraria*, 20) [7] *Betula*–*Quercus*–*Frangula*–*Convallaria*, 21) [4] *Tilia*+*Quercus*–*Acer tataricum*–*Stellaria holostea*, 22) [4] *Quercus*–*Acer tataricum*+*Frangula*–*Pteridium aquilinum*, 23) [5] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Melampyrum nemorosum*, 24) [4] *Pinus*–*Rubus idaeus*–*Convallaria*, 25) [6] *Pinus*+*Betula pendula*–*Molinia caerulea*–*Vaccinium myrtillus*, 26) [8] *Betula*+*Pinus*–*Frangula*–*Pteridium*–*Rubus saxatilis*, 27) [8] *Pinus*–*Frangula*–*Convallaria*, 28) [6] *Betula pubescens*–*Frangula*–*Molinia caerulea*–*Polytrichum commune*, 29) *Carex elata*+*C. vesicaria* 30) [6] *Betula pubescens*–*Vaccinium myrtillus*, 31) [8] *Pinus*–*Frangula*–*Convallaria*, 32) [4] *Pinus*–*Sambucus racemosa*–*Pteridium*, 33) [3] *Pinus*+*Quercus*–*Corylus*–*Stellaria holostea*, 34) [7] *Pinus*–*Sambucus*–*Calamagrostis*, 35) [7] *Pinus*–*Corylus*–*Convallaria*+*Rubus saxatilis*, 36) [4] *Pinus*–*Quercus*–*Corylus*–*Pteridium*, 37) [5] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Clematis recta*–*Melampyrum nemorosum*+*Melica nutans*, 38) [3] *Tilia*+*Quercus*–*Corylus*–*Stellaria*, 39) [5] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Melampyrum nemorosum*, 40) [5] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Brachypodium pinnatum*, 41) [4] *Pinus*+*Quercus*–*Acer tataricum*–*Convallaria*, 42) [5] *Quercus*–*Brachypodium pinnatum*, 43) [7] *Pinus*–*Sambucus racemosa*–*Rubus idaeus-caesii*, 44) [4] *Quercus*+*Pinus*–*Frangula*–*Convallaria*, 45) [4] *Quercus*+*Pinus*–*Corylus*–*Convallaria*, 46) [5] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Convallaria*+*Melampyrum nemorosum*, 47) [5] *Quercus*–*Brachypodium pinnatum*, 48) [3] *Tilia*+*Quercus*–*Acer tataricum*–*Stellaria*+*Asarum europaeum*, 49) [4] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Stellaria*+*Convallaria*, 50) [4] *Quercus*–*Acer tataricum*–*Stellaria*, 51) [3] *Tilia*+*Quercus*–*Corylus*–*Carex pilosa*, 52) [2] *Fraxinus excelsior*+*Acer platanoides*+*Tilia*–*Corylus*–*Urtica dioica*+*Aegopodium*, 53) [2] *Ulmus glabra*+*Fraxinus*+*Quercus*–*Corylus*–*Urtica*+*Impatiens noli-tangere*, 54) [2] *Fraxinus*+*Tilia* +*Quercus*–*Corylus*–*Impatiens*+*Aegopodium*

Quercus-Fagetum Br.-Bl. & Vlieger 37

1. Ficario-Ulmetum Knapp 42 em. J. Mat. 76
 2. Lamio maculati-Quercetum roboris Bulokhov ex Goncharenko 2001
 3. Stellario holostea-Aceretum platanoiditis Bajrak 96 em. Goncharenko 2001
 4. Melici nutantis-Quercetum robori (Shevchyk & V. Sl. 96) em.
 5. Galio tinctori-Quercetum roboris ass. nov.
- Vaccinio-Piceetum* Br.-Bl. in Br.-Bl., Siss. & Vlieger 39
6. Molinio-Pinetum W. Mat. & J. Mat. 73
 7. Peucedano-Pinetum W. Mat. (62) 73
 8. Dicrano-Pinetum Prsg. & Knapp ex Oberd. 57

Наприклад, всього еталонних описів асоціації Ficario-Ulmetum – 7, Lamio-Quercetum – 17 і т.д. (табл. 1). Ці фітоіндикаційні дані, оброблені в дискримінантному аналізі, дають нам систему лінійних рівнянь, що описують еталонні синтаксони через дані індикації. Наприклад, для асоціації Stellario-Aceretum можемо записати:

$$F_{\text{Stellario-Aceretum}} = -1970 + 30,1* Rc + 142,4* Tr - 75* Nt + 229,9* Hd + 93,2* Ca$$

і т.д. (табл. 1). На третьому етапі дані індикації нових фітоценозів (описи профілю див. рис. 1) використовуються в системі цих рівнянь. Максимізація значення класифікаційної функції F при заданих Rc, Tr, Nt, Hd, Ca вказує на класифікаційну приналежність фітоценозу в межах взятої сукупності еталонів. У зв'язку з переважанням вздовж профілю лісової рослинності серед цих еталонів були лише асоціації лісів, відповідно і в розпізнаванні обмежилися 47 описами лісової рослинності. Відповідність фітоценозу певній асоціації, встановлену за результатами розпізнавання по даних індикації, приведено в підпису до рис. 1.

Надійність одержаної моделі можна оцінити частотою правильної класифікації в моделі відносно вихідної класифікаційної приналежності об'єктів навчальної вибірки. Цей показник (R) змінюється від 0% (приналежність жодного з об'єктів навчальної вибірки не можемо передбачити з допомогою моделі) до 100% (класифікація об'єктів у моделі повністю відповідає фактичному розподілу між кластерами). Якщо до процесу розпізнавання залучати по чергово кожен екофактор окремо, то статистика Уїлкса (λ) покаже надійність розпізнавання фітоценозів через цей екофактор. Звичайно, при цьому провідний фактор ценотичної диференціації буде мати більший вклад, а λ – менше значення. Ступінь подібності нових об'єктів (фітоценозів) відносно груп навчальної вибірки (синтаксонів) оцінюємо відстанню Махаланобіса (D_M). Ми розрахували середнє значення останнього показника для сукупності фітоценозів, описаних на профілі в межах кожної асоціації, до якої вони були віднесені за результатами дискримінантного аналізу. Тоді D_M вказує на середню міру тяжіння (типовості) нових описів до раніше виділених синтаксонів.

Рослинність дослідженого профілю представлена угрупованнями листяних, мішаних, хвойних лісів з фрагментарним вкрапленням гідрофітних комплексів (рис. 1). Складні діброви за участю вимогливих до трофності *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* зосереджені на нижній терасі лівого берега, яка відділена помітним уступом (описи 52-54). Значні площі в дослідженому масиві займають субори та судіброви, найчастіше з переважанням *Quercus robur*, *Pinus sylvestris* *Convallaria majalis*. Горбисті ділянки борової тераси з піщаними ґрунтами займають хвойні ліси з *Pinus sylvestris*, які умовно можна поділити на чагарникові сосняки з *Rubus idaeus* (описи 1, 24), сосняки злакові (описи 5, 14) та сосняки зеленомошні (описи 4, 17). На депресіях борової тераси зустрічаються заболочені ділянки з домінуванням *Carex elata* (описи 2, 29), оточені фрагментами березняків, найчастіше із *Molinia caerulea*, *Deschampsia caespitosa* та іншими лучними оксилофітами у трав'янистому ярусі. Такими є в загальних рисах особливості дослідженої рослинності.

За результатами розпізнавання 47 ценозів лісової рослинності відносно асоціацій створеної раніше схеми (див. вище) встановлено, що на дослідженому профілі представлені 7 асоціацій, за винятком Ficario-Ulmetum (табл. 1). Розподіл кількості ценозів між різними асоціаціями різко нерівномірний: у той час, як ценози Lamio-Quercetum трапилися лише 3 рази, що загалом вздовж профілю становить приблизно 260 м, тобто 5%, ценози іншої асоціації Melici-Quercetum загалом вкривають 29% профілю.

Надійність проведеного розпізнавання фітоценозів (R) можна визнати в основному задовільною, оскільки значення R коливалися від 55,6 до 100% при середньому значенні

79,6 %. Найнижче значення для асоціації Melici-Quercetum (55,6 %) спричинено екотонним характером цієї одиниці та переважанням євритопних видів у її флористичному складі. Навпаки, асоціація Molinio-Pinetum має цілком дискретну еконішу в просторі 5 врахованих едафічних факторів, тому має 100 % точність розпізнавання за використаними фітоіндикаційними даними.

Вклад різних екологічних факторів у ценотичну диференціацію різних: найвища надійність розпізнавання для лісів спостерігається за фактором вмісту азоту (Ni) ($\lambda = 0,12$), отже, він є як провідний і найбільшою мірою впливає на флористичні відмінності, навпаки в координатах сольового режиму (Tr) дискретність лісових асоціацій найменша, оскільки $\lambda = 0,33$ (див. табл. 1), тому спостерігається значна трансгресія амплітуд за цим показником. Середню якість розпізнавання аналізованої вибірки забезпечують Rc, Hd.

Таблиця 1

Результати дискримінантного аналізу асоціацій лісової рослинності

№ асоціації	N	Rc	Tr	Nt	Hd	Ca	Const	R, %	D_M	H	L*100	L, %
1	7	24,2	151,8	-70,9	241,9	91,7	-2154	85,7		0	0	0
2	17	27,9	140,2	-68,8	229,3	91,2	-1963	94,1	2,2	3	2,6	5
3	11	30,1	142,4	-75,0	229,9	93,2	-1970	81,8	3,0	5	7,2	14
4	9	25,5	143,8	-77,1	233,5	95,1	-1983	55,6	4,4	12	14,3	29
5	10	25,8	166,8	-97,2	228,0	101,7	-1995	100,0	6,7	8	4,4	9
6	9	4,4	170,4	-91,3	254,7	101,2	-2218	100,0	7,3	4	1,4	3
7	8	12,4	163,7	-82,9	228,5	92,3	-1903	62,5	5,4	11	8,9	18
8	7	14,8	152,8	-83,9	226,6	93,6	-1833	57,1	8,1	4	8,3	17
λ		0,14	0,33	0,12	0,15	0,31						
Разом								82,1		47	47,1	95

Позначення: № асоціації див. фрагмент синтаксономічної схеми; Rc – Ca – коефіцієнти при відповідних екофакторах; R – надійність класифікації; D_M – усереднена відстань Махаланобіса у групі; N – кількість фітоценозів, використаних в процесі навчання; H – частота, з якою зустрічаються ценози асоціації; L – абсолютні (м) та відносні набліжені оцінки загальної протяжності ценозів даної асоціації уздовж профілю, λ – статистика Уїлкса

Значення відстані Махаланобіса D_M (див. табл. 1) свідчать, що ценози 52-54 (рис. 1), віднесені до асоціації Lamio-Quercetum з огляду на екологію, досить близькі ($D_M = D_{Mmin} = 2,2$) до навчальних (еталонних) ценозів цієї ж асоціації, за якими свого часу була створена синтаксономічна схема рослинності даного регіону. У той же час ценози 7, 8, 25, хоча й віднесені до найближчої асоціації Molinio-Pinetum, суттєво відрізняються від еталонних ценозів цієї асоціації. Це стає зрозумілим, оскільки в описаній процедурі класифікації будь-який новий об'єкт буде віднесений до найближчого кластера із заданої сукупності, при цьому не ставиться питання про те, чи можна взагалі «закласифікувати» даний об'єкт при заданій кількості кластерів та фіксованому їх об'ємі, тому й необхідні оцінки D_M . Істотне збільшення значень останньої величини для певних об'єктів відносно середнього рівня «подібності» всіх об'єктів вказує на їх суттєві відмінності, і можливо в подальшому вони стануть центром нового кластера, що остаточно вирішити в рамках дискримінантного аналізу неможливо.

Висновки

Дискримінантний аналіз, або метод розпізнавання даних з навчанням, може використовуватися в фітоценології для описування положення синтаксонів у маловимірному екологічному просторі і проведення набліженої синтаксономічної класифікації за фітоіндикаційними даними. Звичайно, кваліфікований геоботанік вже на основі ознайомлення з видовим складом ценозу може передбачити його синтаксономічну приналежність. Але щоб обробляти великі масиви інформації, зробити процес розпізнавання автоматичним, необхідна процедура дискримінантного аналізу з використанням комп'ютера. Цей метод дає можливість швидко відкинути велику кількість варіантів невірної класифі-

кації, а серед тих, що залишилися, зорієнтуватися, оперуючи точними математичними даними та невеликою кількістю параметрів, якими є декілька врахованих у моделі фітоіндикаційних показників. Описано даний метод дозволяє оцінити надійність класифікації з певним екофактором як параметром лінійної моделі та надійність розпізнавання фітоценозів даного синтаксону із сукупністю врахованих у моделі фітоіндикаційних параметрів та визначити ступінь типовості нових об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
- Дырнков С.А., Самусенко И.Ф. Применение дискриминантного анализа при определении принадлежности объекта к единицам лесотипологической классификации // Количественные методы анализа растительности: Материалы 4-го всесоюз. совещ. / Отв. ред. Б.М. Миркин. – Уфа, 1974. – С. 120-123.
- Злобин Ю.А. Использование техники факторного анализа для изучения фитоценологической структуры живого напочвенного покрова в лесу // Там же. – С. 10-13.
- Карпов Д.Н., Розенберг Г.С. Эксперимент по машинному распознаванию засоления пойменных почв Башкирского Зауралья и Предуралья по растительности // Статистические методы классификации растительности и оценка ее связи со средой: Сб. ст. / Отв. ред. Б.М. Миркин. – Уфа, 1975. – С. 218-222.
- Клекка У.Р. Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др. Под. ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 78-137.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Факторный анализ в фитоценологии. 1. Общая характеристика модели // Биол. науки. – 1977. – № 12. – С. 121-126.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Количественные методы классификации, ординации и геоботанической индикации // Итоги науки и техники. Сер. ботаника. – М.: ВИНТИ, 1979. – Т. 3. – С. 71-137.
- Розенберг Г.С. К методике использования теории распознавания образов в фитоиндикационных исследованиях // Статистические методы классификации растительности и оценка ее связи со средой: Сб. ст. / Отв. ред. Б.М. Миркин. – Уфа, 1975. – С. 5-37.
- Розенберг Г.С. Некоторые вопросы оптимизации процесса распознавания условий среды по растительности // Аспекты оптимизации количественных исследований растительности: Сб. ст. / Отв. ред. Р.Г. Минибаев. – Уфа, 1976. – С. 6-34.
- Салтыковская Т.О., Герасименко Г.Г., Ипатов В.С. Экологическая характеристика сфагновых сосняков северо-запада России с помощью факторного анализа // Ботан. журн. – 1999. – 84, № 11. – С. 81 – 94.

Надійшла до редколегії 05.06.02