

## ЕКОЛОГІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОШИРЕННЯ ЛІСІВ В УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ

*Національний лісотехнічний університет України*

На основі математичного моделювання методами добування даних установлені комбінації екологічних параметрів, які визначають осі максимального варіювання лісової рослинності степової зони. Основна закономірність формування місцезростань лісової рослинності степової зони полягає в такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням температури й континентальності клімату зростають показники засоленості та *pH* ґрунту, зменшується вміст азоту й вологість ґрунту, зростає освітленість у ценозі.

*Ключові слова:* лісова рослинність, екологічні закономірності, багатовимірна ординація, математичне моделювання.

V. M. Skrobala

*National Forestry Engineering University of Ukraine*

### ECOLOGICAL RULES OF THE FOREST EXTENSION IN A STEPPE REGION ENVIRONMENT

According to the mathematical modeling science and to the data mining methods there were found ecological parameters that determine axis of the maximum forest variation in a steppe region environment. Main rule of the forest forming in a steppe region proved to depend on a structure of the ecological parameters interconnections. As the temperature and continentality increase, salinity and *pH* level increase also, amount of nitrogen and soil dampness decreases.

*Keywords:* forest vegetation, ecological rules, multidimensional ordination, mathematical modeling.

В умовах посушливого клімату степової зони, де панує ксерофітна трав'яниста рослинність, на невеликих площах збереглися природні лісові насадження (Бельгард, 1950). Вони приурочені до схилів балок і ярів, піщаних терас та заплав річок. Екологічні закономірності поширення лісів в умовах географічної невідповідності (степового безлісся) і по цей час залишаються актуальною проблемою геоботанічних досліджень (Бельгард, 1950; 1971; Шеляг-Сосонко, 1982), вирішення якої має важливе значення для практики степового лісорозведення, раціонального використання, охорони та відтворення рослинних ресурсів.

У зв'язку зі складністю рослинного угруповання як об'єкта математичного моделювання та відсутністю розвиненої методології моделювання складних систем дану проблему неможливо виразити у числовій формі або у вигляді цільової функції (Миркин, 1980). Взявши за основу типологічну схему лісів степової зони О. Л. Бельгарда (1950), ідея наших досліджень полягала у використанні сучасних методів обробки геоботанічної інформації, які використовуються для прийняття рішень в умовах невизначеності (Дюк, 2001; Скробала, 2004а).

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Екологічні закономірності поширення лісових насаджень в умовах степової зони вивчали методами отримання даних (Дюк, 2001; Скробала, 2004а). Основу геоботанічної інформації становлять відомості про екологічні умови місцезростання вісімдесяти дев'яти угруповань за дев'ятьма параметрами: *Tm* – термічний режим, *Kn* – континентальність клімату, *Om* – омброклімат, *Cr* – кріоклімат, *Rc* – кислотність ґрунту, *Tr* – уміст солей, *Nt* – мінеральний азот, *Hd* – вологість ґрунту, *Lc* – освітленість (Цыганов, 1983; Дідух, 1994). Дослідження включали три основні етапи: вивчення структури взаємного розташування фітоценозів у багатовимірному просторі екологічних параметрів, математичне моделювання структури та перевірку математичної моделі.

Математичне моделювання здійснювали шляхом установлення систематичних взаємозв'язків між екологічними параметрами місцезростань лісових насаджень (Дюк, 2001). Кожне рослинне угруповання можна представити у вигляді точки у багатовимірному просторі ознак, координати якої відповідають значенням параметрів екологічних режимів (Енюков, 1986; Миркин, 1980). У цьому випадку подібність фітоценозів за сукупністю екологічних параметрів можна визначити на основі відстаней між точками, а закономірності поширення – як напрям у багатовимірному просторі ознак. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні осей максимального варіювання рослинності, визначенні їх кількості, оцінці вкладу кожного екологічного параметра у варіювання на основі класичного багатовимірного масштабування (Енюков, 1986). Перевірку математичної моделі виконували на основі порівняльної оцінки положення фітоценозів на осях максимального варіювання (багатовимірної ординації) з результатами геоботанічних досліджень та даними літературних джерел (Бельгард, 1950, 1971; Рослинність ..., 1971; Ткач, 1999; Грицан, 2000; Белова, 2002; Іванько, 2002).

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження екологічних закономірностей поширення лісів у межах території України представлені у нашій попередній роботі (Скробала, 2004б). Багатовимірну ординацію лісової рослинності можна представити у вигляді квадратичної параболи, в основі якої знаходяться букові насадження. Ліва гілка параболи відображає особливання місцезростань рівнинних лісів. Загальна закономірність поширення лісів на території України полягає у такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням температури повітря зростає вміст солей і *pH* ґрунту, погіршується режим вологозабезпеченості ґрунту, зменшується відношення кількості опадів до випаровування. Ієрархія значущості екологічних параметрів подана в такій послідовності: кліматичні фактори (термічний режим і континентальність) – едафічні фактори – режим освітленості. Цілком очевидно, що зменшення градієнта кліматичних параметрів на фоні високих показників термічного режиму й континентальності повинно істотно вплинути на екологічні закономірності поширення лісів степової зони.

Завдання математичного моделювання полягало в заміні великого масиву чисел (екологічних параметрів місцезростань) на такий розкид точок, що допоміг би виявити їх структуру як відображення екологічних закономірностей (Дюк, 2001). Оскільки екологічні параметри місцезростань лісової рослинності корельовані між собою (рис. 1), можна зробити висновок, що дані спостережень можна пояснити невеликою кількістю нових змінних, які безпосередньо не вимірюються, але можуть бути отримані через лінійну комбінацію вихідних даних (Дюк, 2001; Енюков, 1986). Це дає змогу зменшити вимірність простору спостережень. Графічно процедура розрахунків зводиться до переміщення початку координат у центр даних і повороту осей координат таким чином, щоб абсциса проходила в напрямі максимальної дисперсії множини даних (рис. 2).

Результати аналізу головних компонент на основі кореляційної матриці можна подати такими рівняннями:

$$Factor_1 = 0,24 \cdot Tm + 0,51 \cdot Kn - 0,35 \cdot Hd + 0,36 \cdot Tr + 0,41 \cdot Rc - 0,22 \cdot Nt - 0,47 \cdot Lc; \lambda_1 = 3,03,$$

$$Factor_2 = 0,38 \cdot Tm - 0,08 \cdot Kn - 0,43 \cdot Hd - 0,54 \cdot Tr - 0,21 \cdot Rc - 0,56 \cdot Nt + 0,10 \cdot Lc; \lambda_2 = 1,51,$$

$$Factor_3 = 0,53 \cdot Tm + 0,05 \cdot Kn - 0,16 \cdot Hd - 0,13 \cdot Tr + 0,42 \cdot Rc + 0,52 \cdot Nt + 0,47 \cdot Lc; \lambda_3 = 1,06,$$

де  $Factor_i$  – компонентні координати;  $Tm, Kn, Hd, Tr, Rc, Nt, Lc$  – стандартизовані значення екологічних параметрів (термічний режим, континентальність клімату, вологість ґрунту, вміст солей, кислотність ґрунту, мінеральний азот, освітленість),  $\lambda_i$  – власні значення векторів.

Перша головна компонента пояснює 43,2 % загальної дисперсії. Максимальними значеннями функції  $Factor_1$  характеризуються типи місцезростань  $F_0$  (нейтральні та кальцефільні варіанти: дерезняки, таволжники, мигдальники, зіноватники, шип-

шинники із сухим різнотрав'ям),  $G_1$  (жостерний терновник з галофільним сухуватим різнотрав'ям). Мінімальні значення першої головної компоненти характерні типам місцезростань  $AB_3$  (сосняк молінієвий),  $AB_4$  (сосняк кунічниковий),  $AB_5$  (сосняк сфагновий), а також ацидофільним і нітрофільним варіантам короткозаплавних лісів ( $D'ac_{1-2}$  – липово-ясенева діброва волосистоосокова,  $D'n_{2-3}$  – бересто-ясенева діброва кропивова,  $D's_2$  – липова діброва зірчичкова,  $D'ac_{1-2}$  – липово-ясенева діброва гряс-тицева). Широкий діапазон варіювання значень  $Factor_1$  властивий лісам піщаних арен та угрупованням степових чагарників (рис. 2).

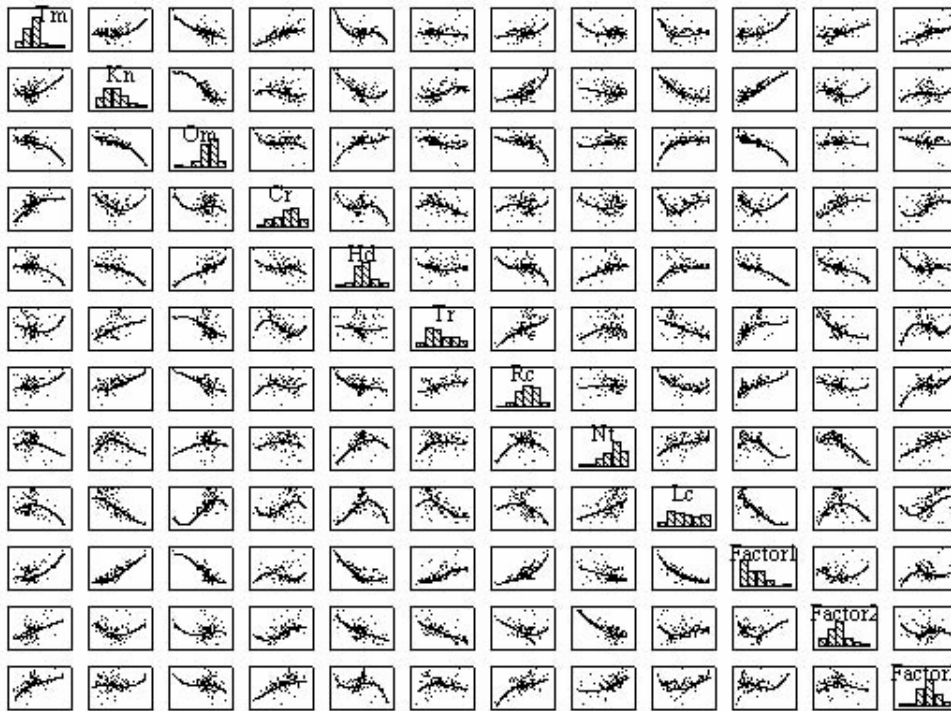


Рис. 1. Діаграма залежності між екологічними параметрами місцезростань лісової рослинності степової зони та комплексними градієнтами середовища

Основна закономірність формування місцезростань лісової рослинності степової зони полягає в такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням температури й континентальності клімату зростають показники засоленості та  $pH$  ґрунту, зменшується вміст азоту та вологість ґрунту, зростає освітленість у ценозі (рис. 1). У порівнянні з висотно-зональною диференціацією лісової рослинності для лісових насаджень степової зони характерні високі показники значущості континентальності клімату, умісту азоту та освітленості у ценозі. Збільшення затінення, умісту вологи та азоту в ґрунті виступає екологічним еквівалентом зменшення показників термічного режиму, континентальності клімату, засоленості й  $pH$  ґрунту, зростання режиму зволоженості клімату (рис. 1). Указана закономірність може слугувати основою для впровадження комплексу заходів, направлених на покращення умов місцезростання лісової рослинності в степовій зоні: затінення посадок (використання щитів, правильна орієнтація рядів посадки), сприяння накопиченню вологи, внесення торфу на піщаних ґрунтах, внесення піску на глинистих ґрунтах, гіпсування лужних ґрунтів тощо.

Друга головна компонента додатково пояснює 21,6 % загальної дисперсії даних. Її значення залежать в основному від умісту азоту ( $r = -0,69$ ), засолення ( $r = -0,67$ ) та

вологості ґрунту ( $r = -0,53$ ). Ця функція відображає закономірності формування тривалозаплавних лісів: із збільшенням вологозабезпеченості ґрунту збільшується вміст азоту та солей, зменшується показник термічного режиму. Мінімальними значеннями функції відзначаються типи місцезростань тривалозаплавних лісів  $C^5_5$  (тритичинковий лозняк),  $D^5e_5$  (вербняк),  $BC^5_5$  (шелюжник),  $BC^3_3$  (осокоірник); максимальними – ліси піщаних арен  $AB_0$  (сосняк лишайниковий),  $B_1$  (дубовий сосняк),  $AB_1$  (сосняк і шелюжник із сухуватим різнотрав'ям).

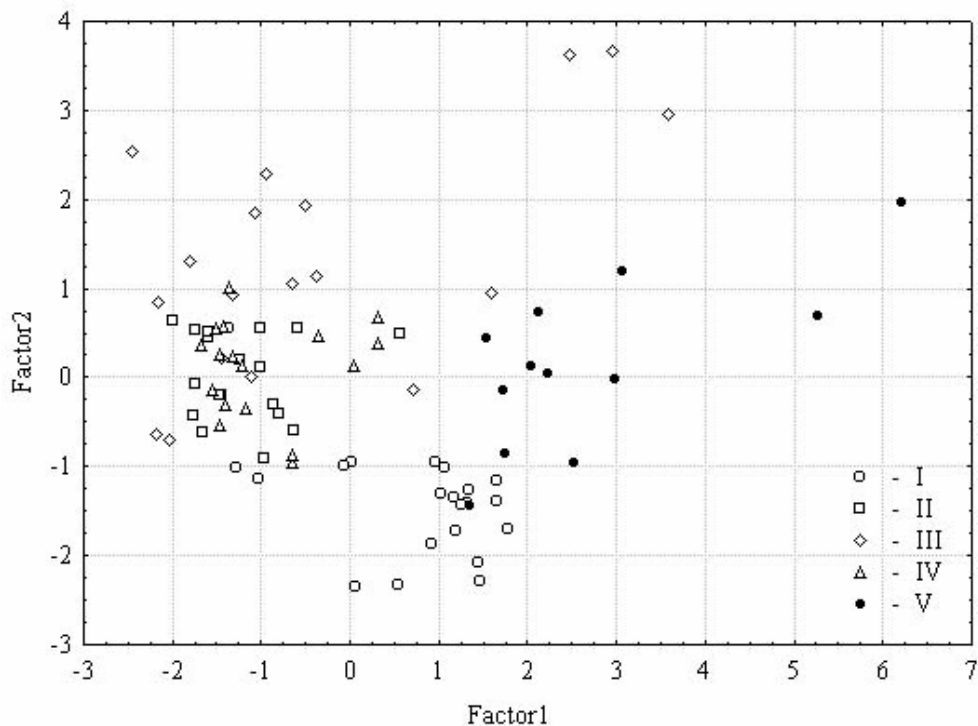


Рис. 2. Ординація угруповань лісової рослинності степової зони:

I – тривалозаплавні ліси; II – короткозаплавні ліси; III – ліси піщаних арен; IV – байрачні ліси; V – чагарникові фітоценози

У системі координат двох головних компонент (рис. 2) практично повністю перекриваються екологічні ареали короткозаплавних і байрачних лісів (явище конвергенції). І хоча проблема типології степових лісів потребує складніших математичних обчислень, аналіз третьої головної компоненти дозволяє частково вирішити це завдання. Третя головна компонента пояснює 15,1 % загальної дисперсії, її значення в основному залежать від термічного режиму ( $r = 0,54$ ), вмісту азоту ( $r = 0,54$ ), кислотності ґрунту ( $r = 0,44$ ) і режиму затінення ( $r = 0,49$ ). У системі координат першої та третьої головних компонент тривалозаплавні ліси розташовані в центрі координатного простору, ліси піщаних арен, які характеризуються низькими значеннями третьої головної компоненти, – в основному в третій координатній чверті. Межею між байрачними й короткозаплавними лісами може слугувати бісектриса другої координатної чверті, яка в напрямі від центру координат відображає екологічний ряд берестово-чорнокленові діброви → липово-ясеневі діброви.

Результати математичного моделювання можуть використовуватися в дослідженнях динаміки рослинного покриву, конкурентної взаємодії, інтенсивності антропогенного навантаження та інших екологічних процесів на основі категорій відстані та

напрям у багатовимірному просторі ознак. Знаючи екологічні параметри місцезростань будь-якого фітоценозу, можна визначити його розташування в системі координат, яка відображає екологічні закономірності поширення лісів степової зони. Так, асоціація *Stipa ucrainica* + *S. lessingiana* + *Festuca sulcata* (Асканія) має координати (7,58; 1,00; ...), *Stipa ucrainica* + *Artemisia austriaca* – (7,36; 0,94; ...), *Pinetum myrtillosum* (Полісся) – (–5,32; 1,31; ...), *Piceetum oxalidosum* (Карпати) – (–3,62; 1,54; ...). Перша головна компонента певною мірою відображає конкурентну боротьбу лісової та степової рослинності.

## ВИСНОВКИ

Наведені у статті результати досліджень слугують прикладом математичної формалізації типологічної схеми лісів степової зони О. Л. Бельгарда (1950). Багатовимірна ординація лісових насаджень у системі координат екологічних факторів дає змогу оцінювати подібність фітоценозів на основі відстаней між точками, а закономірності поширення – як напрям у багатовимірному просторі ознак. Основна закономірність поширення лісової рослинності степової зони полягає у такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами: із збільшенням температури і континентальності клімату зростають показники засоленості і *pH* ґрунту, зменшується вміст азоту та вологість ґрунту, зростає освітленість у ценозі. Така комбінація екологічних параметрів відображає закономірності широтної зональності лісової рослинності степової зони і характер її взаємозв'язків із степовою рослинністю. Відображенням цієї закономірності служить такий екологічний ряд: короткозаплавні і байрачні ліси → тривалозаплавні ліси → чагарникові фітоценози. Друга за значущістю закономірність, яка відрізняється прямою кореляцією вологості та засолення ґрунту, характеризує особливості формування місцезростань тривалозаплавних лісів.

У порівнянні із висотно-зональною диференціацією лісової рослинності в межах території України, для лісових насаджень степової зони характерні високі показники значущості континентальності клімату, вмісту азоту та освітленості у ценозі. Збільшення затінення, вмісту вологи та азоту в ґрунті виступають екологічним еквівалентом зменшення показників термічного режиму, континентальності клімату, засоленості і *pH* ґрунту. Вказана закономірність може слугувати основою для впровадження комплексу заходів, направлених на покращення умов місцезростання лісової рослинності у степовій зоні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Белова Н. А. Экологическая полиморфность и гетерогенность лесных эдафотопов в степи / Н. А. Белова, А. П. Травлев // Питання степового лісознавства та лісової рекультиваци земель. – Вип. 6. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2002. – С. 4-11.
- Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1950. – 263 с.
- Бельгард А. Л. Степное лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
- Грицан Ю. І. Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище (екотоп, взаємодія, дендроіндикація, типологія): Автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.16 / Дніпропетр. держ. ун-т. – Д., 2000. – 35 с.
- Дідух Я. П. Фітоіндикація екологічних факторів / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
- Дюк В. Data Mining: Учебный курс / В. Дюк, А. Самойленко. – СПб: Питер, 2001. – 368 с.
- Енюков И. С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 232 с.
- Іванько І. А. Екологічна роль світлової структури у формуванні лісових культурбіогеоценозів у степу (середовищеперетворення, сільватизація, стійкість): Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 / Дніпропетр. нац. ун-т. – Д., 2002. – 18 с.
- Миркин Б. Г. Анализ качественных признаков и структур. – М.: Статистика, 1980. – 349 с.
- Рослинність УРСР. Ліси. – К.: Наук. думка, 1971. – 460 с.
- Скробала В. М. Використання методів добування даних у фітоценологічних дослідженнях // Журнал агробіології та екології. – 2004а. – Т. 1, № 1-2. – С. 196-201.
- Скробала В. М. Лісова типологія: аспекти заповідної справи // Наук. вісник УкрДЛТУ. – 2004б. – Вип. 14.8. – С. 100-106.

**Ткач В. П.** Заплавні ліси Лівобережної України та наукові основи господарювання в них: Автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.03 / Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Л., 1999. – 37 с.

**Цыганов Д. Н.** Фитоиндикация экологических факторов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М.: Наука, 1983. – 198 с.

**Шеляг-Сосонко Ю. Р.** География растительного покрова Украины / Ю. Р. Шеляг-Сосонко, В. В. Осычнюк, Т. Л. Андриенко. – К.: Наук. думка, 1982. – 286 с.

*Надійшла до редколегії 05.05.06*