
ЛІСОВА ТИПОЛОГІЯ

УДК 581.526.3: 630.4

В. М. Скробала

БАГАТОВИМІРНА ТИПОЛОГІЯ ЛІСІВ СТЕПОВОЇ ЗОНИ

Національний лісотехнічний університет України

На основі математичного моделювання методами добування даних представлено загальні результати типізації місцезростань лісової рослинності степової зони, запропоновано схему кліматично-едафічної сітки. Відзначено перспективність методів математичного моделювання для вирішення широкого кола завдань екологічного прогнозування.

Ключові слова: лісова рослинність, степова зона, екологічні закономірності, багатовимірна ординація, типологія лісів, математичне моделювання.

В. М. Скробала

Национальный лесотехнический университет Украины

МНОГОМЕРНАЯ ТИПОЛОГИЯ ЛЕСОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

На основе математического моделирования методами добычи данных представлены общие результаты типизации местопроизрастаний лесной растительности степной зоны, предложена схема климатическо-эдафической сетки. Отмечена перспективность методов математического моделирования для решения широкого круга заданных экологического прогнозирования.

Ключевые слова: лесная растительность, степная зона, экологические закономерности, многомерная ординация, типология лесов, математическое моделирование.

V. M. Skrobala

National University of Forestry and Wood Technology of the Ukraine

MULTIDIMENSIONAL TYPOLOGY OF STEPPE ZONE FORESTS

On the basis of mathematical modeling by the Data Mining methods the general results of typification of forest vegetation habitats of the steppe zone and the chart of climat–edaphic net have been represented. Perspective of methods of mathematical modeling is marked for the decision of wide circle of tasks of ecological prognostication.

Keywords: forest vegetation, steppe zone, ecological peculiarities, multidimensional ordination, forest typology, mathematical modeling.

У порівнянні з едафічною сіткою Алексєєва-Погребняка (Погребняк, 1955; Вороб'єв, 1959) типологічна схема лісів степової зони О. Л. Бельгарда (1950) відрізняється складнішою конструкцією (Горейко, 2005). Ця схема додатково включає низку категоріальних ознак, які характеризують особливості поширення лісових ценозів (тривалозаплавні, короткозаплавні, байрачні ліси, ліси піщаних арен, угруповання степових чагарників) та властивості едафотопу (ацидофільні, нітрофільні, кальцефільні варіанти тощо).

Істотний недолік категоріальних ознак полягає у їх низькій інформативності (Миркин, 1980; Скробала, 2006). Тому завдання наших досліджень полягало у математичній формалізації типологічної схеми лісів степової зони на основі екологічних шкал Д. Н. Цыганова (1983). На відміну від традиційних індуктивних

методів градієнтного аналізу та побудови екологічних рядів для цього ми використали дедуктивні підходи (від складного до простого), завдяки чому планували досягти поєднання простоти і інформативності типологічної схеми.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Типізацію місцезростань лісової рослинності степової зони здійснювали методами добування даних (Дюк, Самойленко; 2001; Скробала, 2004). 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, Tg – вміст 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. 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. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні осей максимального варіювання рослинності, визначенні їх кількості, оцінці вкладу кожного екологічного параметра у варіюванні на основі багатовимірного масштабування (Енюков, 1986) із врахуванням інформації про належність угруповань до певної категорії (категорія лісових земель, тип умов місцезростання, склад і продуктивність деревостану тощо). Перевірку математичної моделі виконували на основі порівняльної оцінки положення фітоценозів на осях максимального варіювання (багатовимірної ординації) із результатами геоботанічних досліджень та даними літературних джерел (Бельгард, 1950; 1971; Рослинність ..., 1971; Шеляг-Сосонко, 1982; Ткач, 1999; Грицан, 2000; Белова, 1999; Іванько, 2002).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Конструювання типологічної схеми лісів пов'язане із двома основними проблемами. Особливістю лісотипологічних досліджень є представлення більшості результатів у якісній формі – шкалах порядку та найменувань. Відносно порядкових і категоріальних даних неприпустимо використовувати математичні операції, що накладає суворі обмеження щодо можливостей оброблення геоботанічної інформації (Миркин, 1980). Друга проблема полягає у необхідності подання вихідної інформації у зручному для сприйняття вигляді – у вигляді двовимірних діаграм чи таблиць. Як правило, це призводить до значної втрати інформації (Скробала, 2006), необхідності використання типологічної схеми лісів тільки в межах невеликої території. Оригінальне вирішення цієї проблеми запропонував О. Л. Бельгард: типологічна схема лісів степової зони представляє собою систему взаємопов'язаних двовимірних таблиць (Бельгард, 1950).

З позицій багатовимірного статистичного аналізу типізація місцезростань лісової рослинності полягає у виділенні характерних згущень точок у гіперпросторі кліматичних, едафічних та ценотичних факторів (Скробала, 2004а). Залежно від рівня деталізації, точками можуть слугувати рослинні угруповання, асоціації, групи асоціацій, субформації, формації, синтаксони еколого-флористичної класифікації тощо. На основі відстаней між точками або інформації про належність об'єктів до певної категорії багатовимірний простір необхідно поділити на окремі гіпероб'єми. Математична формалізація типологічної схеми зводиться до опису геометричної структури даних із врахуванням розподілу всієї сукупності місцезростань між окремими категоріями.

У рамках прийняття рішення в умовах невизначеності ми розглядали декілька варіантів типізації місцезростань лісової рослинності степової зони, які відрізнялися

рівнем складності та інформативності. Один із результатів математичного моделювання (рис. 1–3) можна представити такими рівняннями:

$$\text{Root}_1 = 0,26 \cdot \text{Tm} + 0,50 \cdot \text{Kn} + 0,33 \cdot \text{Om} - 0,24 \cdot \text{Cr} + 0,53 \cdot \text{Hd} + 0,73 \cdot \text{Tr} + 0,07 \cdot \text{Rc} - 0,03 \cdot \text{Nt} - 0,42 \cdot \text{Lc};$$

$$\lambda_1 = 6,96;$$

$$\text{Root}_2 = -0,58 \cdot \text{Tm} + 0,88 \cdot \text{Kn} + 0,18 \cdot \text{Om} + 0,45 \cdot \text{Cr} + 0,51 \cdot \text{Hd} - 0,51 \cdot \text{Tr} - 0,47 \cdot \text{Rc} - 1,01 \cdot \text{Nt} - 0,36 \cdot \text{Lc};$$

$$\lambda_2 = 6,36;$$

$$\text{Root}_3 = 0,76 \cdot \text{Tm} - 0,33 \cdot \text{Kn} + 0,79 \cdot \text{Om} + 0,33 \cdot \text{Cr} + 0,79 \cdot \text{Hd} + 0,22 \cdot \text{Tr} - 0,02 \cdot \text{Rc} + 0,03 \cdot \text{Nt} - 0,47 \cdot \text{Lc};$$

$$\lambda_3 = 1,37,$$

де Root_i – канонічні дискримінантні функції; Tm , Kn , Om , Cr , Hd , Tr , Rc , Nt , Lc – стандартизовані значення екологічних параметрів (термічний режим, континентальність клімату, режим зволоженості клімату, кріорежим, вологість ґрунту, вміст солей, кислотність ґрунту, мінеральний азот, освітленість); λ_i – власні значення векторів.

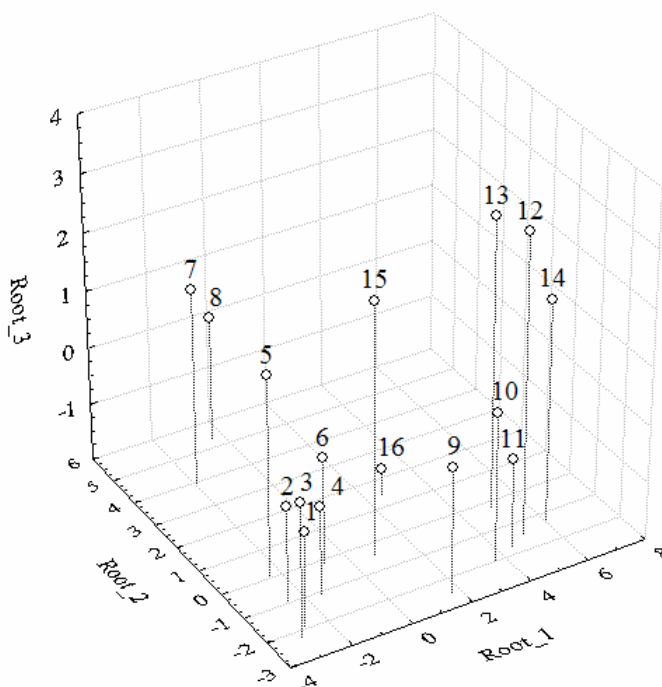


Рис. 1. Тривимірна координація місцезростань лісової рослинності степової зони

Умовні позначення: 1 – липово-ясеневі діброви; 2 – липові діброви; 3 – липово-грабові, липово-ільмові діброви; 4 – бересто-ясеневі діброви; 5 – соснові дубняки; 6 – бересто-чорнокленові дубняки; 7 – дубові сосняки; 8 – сосняки; 9 – в'язо-дубняки; 10 – в'язо-осокірники; 11 – осокірники; 12 – вербняки; 13 – трьохтичинкові лозняки; 14 – шелюжники; 15 – ольси; 16 – угруповання степових чагарників.

Як свідчать результати математичних обчислень, екологічні параметри омброрежиму (зволоженості клімату), термічного режиму, кріорежиму і кислотності ґрунту не відіграють великої ролі для типізації місцезростань лісових ценозів степової зони. Ці показники ми свідомо включили в математичну модель для того, щоб на основі типологічної схеми порівнювати степові ліси із лісами віддалених регіонів (Полісся, Лісостеп, Українські Карпати, Гірський Крим) або іншими типами рослинності (лучною, степовою, болотною тощо). Для вирішення локальних завдань екологічного прогнозування, дослідження просторових і часових змін фітоценозів доцільно використовувати більш детальні (не загальні) типологічні схеми.

Перша вісь кліматично-едафічної сітки (рис. 1–2) пояснює 42,8 % загальної дисперсії. Максимальними значеннями канонічної дискримінантної функції Root_1

характеризуються типи місцезростань BC^5_5 (шелюжник з алювізитним різнотрав'ям), C^5_5 (тритичинковий лозняк з болотним крупнотрав'ям), D^e_5 (вербняк з болотним крупнотрав'ям), C^{1-2}_{1-2} (осокірник з ранньою осокою), BC^4_4 (жовтолозняк з сирим крупнотрав'ям), AB^{1-2}_{1-2} (шелюжник з куничником наземним). Мінімальні значення $Root_1$ характерні типам місцезростань Dc_{2-3} (широкотравні липово-пакленові, липово-ільмові, липово-грабові діброви), $D'c_{2-3}$ (липова діброва з широкотрав'ям), $D'ac_{2-3}$ (липово-ясенева діброва з широкотрав'ям), Dc_3 (яглицеві липово-ільмові і липово-грабові діброви), Dn_{2-3} (пакленово-ясенева діброва з широкотрав'ям), Dac_{2-3} (липово-ясенева діброва з широкотрав'ям), $D'ac_{1-2}$ (липово-ясенева діброва з осокою пухнастою). Широкий діапазон варіювання значень $Root_1$ властивий тривалозаплавному лісам (рис. 2). Значення першої дискримінантної функції залежать в основному від вмісту солей у ґрунті ($r=0,90$), континентальності клімату ($r=-0,64$) та освітленості в ценозі ($r=-0,81$). Для тривалозаплавних лісів спостерігається додатня кореляція між значеннями функції $Root_1$ і рівнем вологості ґрунту, а для місцезростань степових чагарників – від'ємна. Оскільки роль вмісту вологи у ґрунті при цьому нівелюється ($r=-0,13$), типологічна схема досить чітко відображає закономірності формування якісного складу деревостану для порід із широким діапазоном толерантності. Наприклад, типи місцезростань BC^5_5 (шелюжник з алювізитним різнотрав'ям) і AB^{1-2}_{1-2} (шелюжник з куничником наземним) займають досить близьке положення у двовимірній системі координат, що неможливо було би відобразити на едафічній схемі Алексеева-Погребняка.

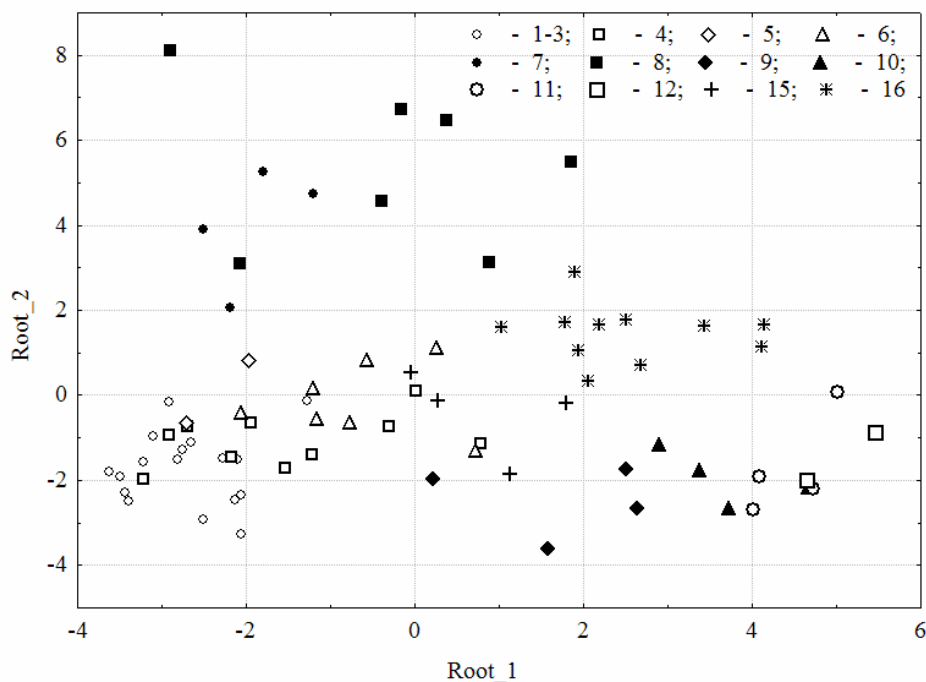


Рис. 2. Ординація угруповань лісової рослинності степової зони
Умовні позначення наведені на рис. 1.

Друга вісь кліматично-едафічної сітки (рис. 1–2) додатково пояснює 39,0 % загальної дисперсії. Значення функції $Root_2$ залежать, в основному, від вмісту азоту ($r=-0,85$), освітленості ($r=-0,49$) та сольового режиму ($r=-0,34$). Ця функція відображає закономірності формування лісів піщаних арен: зменшення вмісту азоту і солей у ґрунті, збільшення освітленості у ценозі. Мінімальними значеннями функції відзначаються типи місцезростань заплавних і байрачних лісів (липово-ясеневі діброви, в'язо-дубняки, в'язо-осокірники), а максимальними – ліси піщаних арен

типів місцезростань АВ і В (сосняки і дубові сосняки).

Двовимірна кліматично-едафічна сітка (рис. 2) пояснює 81,8 % загальної дисперсії, обумовленою відмінностями якісного складу деревостану степових лісів. У порівнянні із типологічною схемою степових лісів О. Л. Бельгарда (1950) вона характеризується простішою конструкцією. Угруповання степових чагарників розташовані у першій координатній чверті, ліси піщаних арен – у другій, байрачні і короткозаплавні ліси – у третій, тривалозаплавні ліси – у четвертій. На схемі досить чітко можна виділити екологічні ряди лісової рослинності степової зони:

I – липово-грабові діброви → липові діброви → липово-ясеневі діброви → бересто-ясеневі діброви → бересто-чорнокленові дубняки;

II – в'язо-дубняки → в'язо-осокірники → осокірники → вербняки → лозняки → шелюжники;

III – соснові дубняки → дубові сосняки → сосняки;

IV – F_{el} (кизильничники і тернівники) → F_{neutr} (вишняки, дерезняки, таволжники, міндальники, зіноватники) → F_{Ca} (чагарникові ценози із кальцієфілним різнотрав'ям).

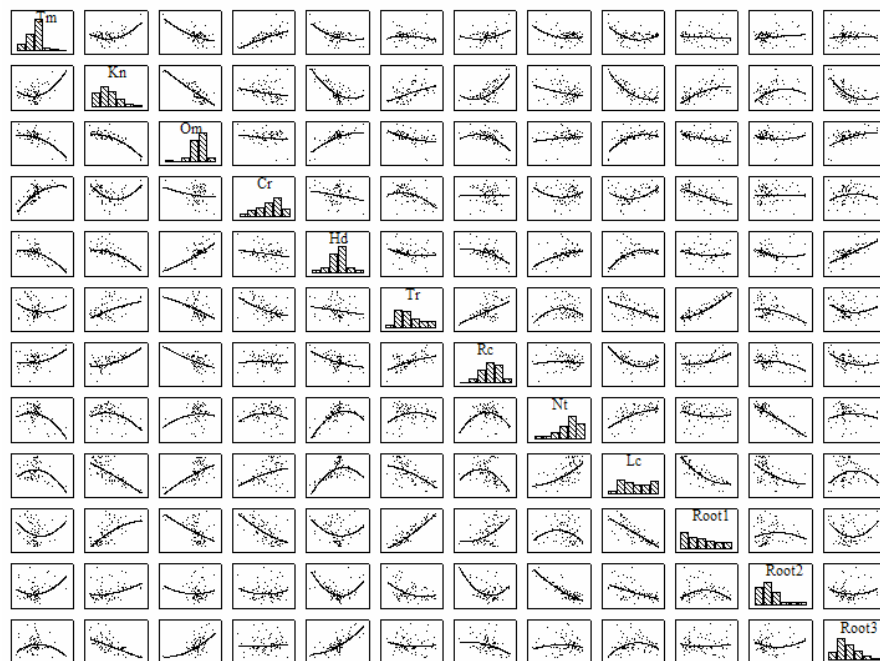


Рис. 3. Діаграма залежності між екологічними параметрами місцезростань лісової рослинності степової зони та значеннями канонічних функцій

Умовні позначення: Tm – термічний режим, Kn – континентальність клімату, Om – омброклімат, Cr – кріоклімат, Rc – кислотність ґрунту, Tr – вміст солей, Nt – мінеральний азот, Hd – вологість ґрунту, Lc – освітленість; Root_i – канонічні дискримінантні функції; точки відображають положення лісових ценозів, стовпчикові діаграми – емпіричні ряди розподілу екологічних параметрів.

Положення чагарникових ценозів засолених місцезростань характеризується широким екологічним ареалом, і їх положення в екологічному ряді не є однозначним.

Байрачним і короткозаплавним лісам, розташованим у третій координатній чверті кліматично-едафічної сітки (рис. 2), властиве перекриття екологічних ареалів (явище конвергенції). Загалом, короткозаплавні ліси характеризуються дещо більшими значеннями другої канонічної функції. Так, липові і липово-ясеневі діброви із зірочником та широкотрав'ям короткозаплавних місцезростань за сукупністю екологічних параметрів тяжіють до байрачних лісів.

Третя вісь кліматично-едафічної сітки (рис. 1) додатково пояснює 8,5 % загальної дисперсії. Значення функції $Root_3$ залежать від вмісту вологи у ґрунті ($r=0,70$), континентальності ($r=-0,57$), омброрежиму ($r=0,55$) та кислотності ґрунту ($r=-0,33$). У цьому випадку вологозабезпеченість ґрунту виступає екологічним еквівалентом режиму зволоженості клімату, зменшення температурних амплітуд. Мінімальні значення функції $Root_3$ властиві місцезростанням степових чагарників, а макимальні – лознякам, шелюжникам, вербнякам і ольсам.

Кореляція між екологічними параметрами місцезростань в межах великої території виступає істотною проблемою геоботанічних досліджень. Тому для пояснення особливостей формування лісової рослинності степової зони між всіма типами місцезростань ми визначали відстань Махаланобіса – багатовимірний аналог відстані Евкліда із врахуванням кореляції між екологічними параметрами (Енюков, 1986). У результаті обчислень нами встановлено, що бересто-чорнокленові дубняки, імовірно, формують ядро лісової рослинності степової зони. Цей тип місцезростань характеризується найменшими значеннями відстаней Махаланобіса щодо інших типів. Максимально віддаленими у гіперпросторі екологічних параметрів є місцезростання шелюжників, сосняків і липово-грабових дібров. Таким чином, типологічну схему лісів степової зони у спрощеному варіанті можна представити у вигляді трикутника, в центрі якого розташовані бересто-чорнокленові дубняки, а у кутах – шелюжники, сосняки і липово-грабові діброви; або у вигляді трикутної піраміди, вершину якої займають чагарникові ценози.

Запропонований варіант типологічної схеми лісів степової зони дозволяє шляхом екстраполяції визначати координати рослинних угруповань, які належать до різних типів рослинності (болотної, степової, лучної тощо) або віддалених географічно, що збільшує можливості аналізу геоботанічної інформації. Так, мінімальними значеннями першої канонічної функції характеризуються угруповання асоціації *Vaccinio myrtilli-Pinetum mughi* (субальпійські стелюхи сосни гірської) класу *Vaccinio-Piceetea*, а максимальними – угруповання класів *Ruppietea*, *Bolboschoenetea maritimi*, *Asteretea tripolium*, *Thero-Salicornieteae*. Асоціація *Melicico-Fagetum* (Розточчя) на типологічній схемі степових лісів має координати (-4,2; 1,1; 0,8; ...), *Quercu roboris-Pinetum var. Dryopterietosum cristatae* (Розточчя) – (-4,5; 4,3; -0,7; ...), *Stipa capillata+St. lessingiana* (Асканія-Нова) – (5,8; 2,2; -2,8; ...), *Abieti-Piceetum montanum* класу *Vaccinio-Piceetea* (Сколівські Бескиди, Українські Карпати) – (-4,4; 9,7; -1,3; ...), *Dentario glandulosae-Fagetum typicum* класу *Quercu-Fagetetea* (Сколівські Бескиди, Українські Карпати) – (-4,3; 0,5; 1,4; ...).

Для вивчення закономірностей динаміки або просторового розподілу лісової рослинності, оцінювання інтенсивності антропогенного впливу типологічна схема лісів степової зони дозволяє наближено визначити координацію різних типів умов місцезростання (рис. 1-2): ксерофітний варіант різнотравно-типчаково-ковилових степів на звичайних чорноземах ($CG_{0.1}$) – (5,8; 3,8; -4,3; ...); мезофітний варіант різнотравно-типчаково-ковилових степів (CG_1) – (5,0; 3,2; -3,2; ...), гідрофітний варіант різнотравно-типчаково-ковилових степів ($CG_{1.2}$) – (3,2; 1,1; -1,2; ...); луки в днищах балок (CG_3) – (4,6; -1,2; 0,1; ...); болотисті луки (CG_4) – (4,3; -2,1; 3,3; ...); солончакові луки ($CG_{3.4}$) – (7,3; -3,0; 1,3; ...); солончаки ($CG_{3.5}$) – (10,7; -5,5; 7,0; ...); пустельні степи на південних чорноземах та темно-каштанових ґрунтах (CG_0) – (8,1; -1,1; -4,4; ...); піщані степи на аренах ($PO_{0.1}$) – (2,2; 5,2; -1,2; ...).

ВИСНОВКИ

Існуючі схеми лісової типології концентрують в собі глибокі знання і досвід вчених-експертів. Але представлення цих знань у якісній формі утруднює їх використання для вирішення багатьох питань природоохоронного характеру. Наведені у статті результати типізації місцезростань лісової рослинності степової зони є прикладом математичної формалізації типологічної схеми О. Л. Бельгарда (1950) на основі екологічних шкал Д. Н. Цыганова (1983), завдяки якій якісну інформацію представлено у вигляді чисел і математичних виразів. Таким чином, лісівничу інформацію можна трактувати в категоріях напряму і відстані у

багатовимірному просторі ознак, вирішуючи питання динаміки лісових насаджень, взаємозв'язків лісу з іншими типами рослинності, екологічного прогнозування.

Типологічну схему лісів степової зони у спрощеному варіанті можна представити у вигляді трикутника, в центрі якого розташовані бересто-чорнокленові дубняки, а у кутах – шелюжники, сосняки і липово-грабові діброви; або у вигляді трикутної піраміди, вершину якої займають чагарникові ценози. Ординація угруповань лісової рослинності степової зони у тривимірному просторі кліматично-едафічної сітки визначається, в основному, вмістом солей, азоту та вологи в ґрунті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлев. – Д. : ДГУ, 1999. – 320 с.
- Бельгард А. Л.** Лесная растительность юго-востока УССР / А. Л. Бельгард. – К. : Изд-во Киев. ун-та, 1950. – 263 с.
- Бельгард А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
- Горейко В. А.** Типология А. Л. Бельгарда – теоретические и производственные основы создания лесных насаждений в степи / В. А. Горейко // *Екологія та ноосферологія*. – 2005. – Т. 16, № 1-2. – С. 101-104.
- Воробьев Д. В.** Методика лесотипологических исследований / Д. В. Воробьев. – Х. : Изд-во ХСХИ, 1959. – 143 с.
- Грицан Ю. І.** Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище / Ю. І. Грицан. – Д. : ДДУ, 2000. – 295 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 / И. С. Енюков. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 232 с.
- Іванько І. А.** Екологічна роль світлової структури у формуванні лісових культурбіогеоценозів в степу (середовищеперетворення, сільватизація, стійкість) / І. А. Іванько: Автореф. дис. канд. біол. наук: 03.00.16 / Дніпропетр. нац. ун-т. – Д., 2002. – 18 с.
- Миркин Б. Г.** Анализ качественных признаков и структур / Б. Г. Миркин. – М. : Статистика, 1980. – 349 с.
- Погребняк П. С.** Основы лесной типологии / П. С. Погребняк. – К. : Изд-во АН УССР, 1955. – 456 с.
- Рослинність УРСР.** Ліси. – К. : Наук. думка, 1971. – 460 с.
- Скробала В. М.** Використання методів добування даних у фітоценологічних дослідженнях / В. М. Скробала // *Журнал агробіології та екології*. – 2004. – Т. 1, № 1-2. – С. 196-201.
- Скробала В. М.** Лісова типологія: аспекти заповідної справи / В. М. Скробала // *Наук. вісник УкрДЛТУ*. – 2004а. – Вип. 14.8. – С. 100-106.
- Скробала В. М.** Багатовимірна типологія лісів / В. М. Скробала // *Лісівництво України в контексті світових тенденцій розвитку лісового господарства: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 150-річчю витоків кафедри лісівництва НЛТУ України*. – Львів : НЛТУ України, 2006. – С. 81-84.
- Ткач В. П.** Заплавні ліси Лівобережної України та наукові основи господарювання в них / В. П. Ткач: 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 / Д. Н. Цыганов. – 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 26.03.08