

*Віктор СКРОБАЛА, Руслана ДАНИЛИК*

**ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ УРБАНІЗАЦІЙНОЇ  
ТРАНСФОРМАЦІЇ ФІТОЦЕНОТИЧНОГО ПОКРИВУ МЕТОДАМИ  
БАГАТОВИМІРНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ**

*Проаналізовано методи математичного оброблення та інтерпретації геоботанічної інформації у процесі великомасштабного реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву в умовах урбанізованих територій. Представлені результати досліджень урбанізаційної трансформації насаджень *Fagus sylvatica* L. в умовах м. Львова.*

Антропогенізація природних ландшафтів є потужним фактором змін біогеоценотичного покриву, насамперед у межах міст і приміських зон [4, 15, 18]. Урбанізація спричинила помітне зменшення розмаїтості екотопів, майже повну відсутність елементів природної рослинності у сучасних культурних ландшафтах [15, 20]. Вивчення взаємозв'язків між підсистемами ландшафту, закономірностей просторової диференціації ґрунтового і рослинного покривів відповідно до змін умов місцезростання має важливе значення у практиці містобудівництва для розроблення рекомендацій щодо забезпечення екологічно збалансованого поєднання урбанізованих і відкритих просторів, охорони основних компонентів природного середовища [4]. Однак методика вирішення вказаних завдань і до теперішнього часу залишається актуальною проблемою. Причина полягає у суттєвій трансформації багатьох природних компонентів і процесів в умовах міста або їх заміні штучними аналогами. Зокрема, це стосується ґрунтового і рослинного покривів, відновлення яких у місцях реконструкції міських районів або ліквідації промислових підприємств потребує всестороннього аналізу їх змін порівняно з природним фоном [29].

Відображення існуючої геоботанічної ситуації на фоні корінної та ілюстрація ступеня дезорганізації природного рослинного покриву викликані не тільки необхідністю пізнання процесів, що відбуваються у сучасній біосфері, а й низкою завдань наукового й ужиткового характеру: економічного оцінювання земель, детального геоботанічного районування, вивчення антропогенних змін у рослинному й біогеоценотичному покриві, ландшафтного планування, оцінювання і збільшення репрезентативності існуючої мережі заповідних територій та ін. [2, 4, 19]. Тому методи реконструктивного геоботанічного картування, які визначаються, з одного боку, об'єктивними факторами (природні умови регіону, ступінь збереження природного рослинного покриву, його структура), а з іншого

— факторами суб'єктивними (призначення і масштаб створюваних карт, площа території, технічні можливості, рівень підготовки спеціалістів), є дуже розмаїтими [19]: використання даних топоніміки, відомостей про природні ареали окремих едифікаторів фітоценозів, споровопилковий аналіз, метод залишкових фітоіндикаторів, метод рослинних неоіндикаторів, еколого-індикаційний метод, кліматична, літологічна, геологічна та топографічна індикація, флористично-хорологічний метод та інші. Кожен із цих методів зокрема або у поєднанні з іншими може бути використаний для досліджень урбанізаційної трансформації рослинного покриву. Проте вибір методу реконструктивного геоботанічного картографування урбанізованих територій часто пов'язаний із значними труднощами: а) порівняно невелика площа міста зумовлює використання великомасштабних карт; б) відсутність достатньої інформації про зруйновану природну рослинність (літературні і картографічні джерела), особливо для давно освоєних районів; в) значні зміни рослинного покриву в приміській зоні, утруднений добір еталонних ділянок; г) висока однорідність території. Інші труднощі полягають у відсутності у науковій літературі зведених відомостей про методи математичного оброблення геоботанічної інформації та інтерпретації отриманих результатів на кожному з етапів реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву: встановлення екологічних особливостей збережених корінних фітоценозів, екологічна типізація місцезростань картованої території з урахуванням їх відмінностей за екологічно важливими показниками, картографічна інтерпретація екологічних характеристик території із зміненою рослинністю за ознаками корінного рослинного покриву [19]. Адже від того, наскільки детально і правильно будуть проведені дослідження взаємозв'язків між природними рослинними угрупованнями і умовами їх місцезростань, наскільки правильно буде здійснена екологічна типізація території, залежать інформативність і точність фітореконструктивної геоботанічної карти.

Геоботанічна інформація представлена, як звичайно, багатовимірними масивами, які вказують на цілий комплекс ознак досліджуваної території (властивості, екологічні показники тощо). Кожен об'єкт (елементарна ділянка поверхні міста)  $I = (i_1, i_2, \dots, i_n)$  володіє множиною характеристик  $S = (s_1, s_2, \dots, s_p)$ : просторові координати, морфометричні показники рельєфу (максимальна, середня і мінімальна висоти, коефіцієнт вертикального розчленування території, крутість і експозиція схилів), характеристики використання території (тип та інтенсивність забудови), особливості фітоценотичного і ґрунтового покривів. Результати вимірювань характеристик об'єкту становлять вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  для кожного  $I$ . Множина векторів  $X$  може бути представлена як  $n$  точок у  $p$ -вимірному евклідовому просторі  $E_p$  або у вигляді прямокутної матриці вихідних даних розміром  $n \times p$ . Багатовимірні вибірки доцільно досліджувати методами багатовимірного (мультиваріантного) статистичного аналізу [1, 5, 8, 12, 14, 29]. Порівняно з одновимірним статистичним аналізом цей підхід характеризується більшою загальністю та універсальністю і збільшує можливість добування інформації із вихідних даних, оскільки поряд з характеристикою кожного фактора, зокрема, дає можливість урахувати їх взаємодію між собою [22].

Для характеристики багатовимірної вибірки першочерговий інтерес являють такі статистичні показники [8, 22]:

а) вектор середніх величин (середні арифметичні величини за ознаками):

$$\bar{X}_j = \left( \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) / n, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, p; \quad (1)$$

де  $x_{ij}$  — значення  $j$ -ої ознаки для  $i$ -го об'єкта;  $p$  — кількість ознак;  $n$  — кількість об'єктів (спостережень).

б) коваріаційна матриця (багатовимірний аналог дисперсії), кожен елемент якої:

$$S_{jl} = \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_j)(x_{il} - \bar{X}_l) \right] / (n - 1) \quad (2)$$

в) кореляційна матриця, кожен елемент якої:

$$R_{jl} = S_{jl} / (S_{jj} \cdot S_{ll})^{0,5} \quad (3)$$

г) матриця відстаней між об'єктами у багатовимірному просторі ознак розмірністю  $n \times n$ :

$$d_{ik} = \left[ p^{-1} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2 \right]^{0,5} \quad (4)$$

де  $d_{ik}$  — відстань між  $i$ -м і  $k$ -м об'єктами;  $w$  — нормуючий показник (як звичайно, відповідає дисперсії).

При виборі методу реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву треба враховувати такі моменти: по-перше, інформативність показників, яка визначається на основі величини кількісного показника міри невизначеності, або ентропії [9]:

$$H = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i \quad (5)$$

де  $k$  — кількість значень, яке може приймати система, зокрема, це кількість класів розподілу варіаційного ряду;  $p_i$  — ймовірність  $i$ -го класу розподілу, яку можна замінити значенням відносної частоти  $n_i/n$ .

В окремих випадках інформативність показників, емпіричний розподіл яких відрізняється від нормального, можна збільшити перетворенням вихідних даних [17]. Так, логарифмічно нормальні розподіли, які часто трапляються у біологічних дослідженнях, легко перетворюються у нормальні логарифмуванням величин показника; по-друге, висока корельованість показників може служити основою для усунення одного з них, хоча це і призводить до часткової втрати інформації; по-третє, показники, які визначаються невисокою інформативністю, можна використовувати для уточнення результатів досліджень, передбачаючи, таким чином, поєднання декількох методів досліджень. На нашу думку, найперспективнішими для реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву урбанізованих територій є методи топографічної, літо- і геоіндикації. Їх перевага пояснюється тим, що геоморфологічні особливості території є консервативніші порівняно з іншими компонентами ландшафту, зокрема рослинним покривом — складною, пластичною і динамічною підсистемою [6, 24]. З іншого боку,

умови рельєфу, характер місцеположення у топо-екологічному ряді, материнська порода, механічний склад ґрунту є факторами, які опосередковано, через проміжні ланки впливають на формування фітоценозів через перерозподіл кількісних режимів прямодіючих екологічних факторів (світло, тепло, зволоження, концентрація поживних речовин, вміст окремих іонів) [6, 7]. Так, тепловий режим істотно залежить від клімату загалом, але велику роль у його трансформації відіграють орографія, характер поверхні ґрунту, мікроклімат ценозу. Вплив рельєфу на характер зволоження території, експозиції схилів на мікроклімат (освітленість, прогрівання) може бути настільки значним, що на схилах північної експозиції підвищень, балок, улоговин можуть спостерігатися риси клімату північніших районів [7]. У цьому випадку використовується така гіпотеза: усі фактори середовища утворюють складне єдине ціле, кожний фактор не є незалежним від інших, а значною мірою визначається іншими факторами, або, навпаки, визначає деяку частину з них. За своєю суттю це тільки інше формулювання ідеї про глибокий взаємозв'язок природних процесів і явищ [6, 7].

Оскільки всі антропогенні комплекси формуються на вже існуючій основі з природних ландшафтів, аналіз збережених фітоценозів і порівняльна характеристика умов місцезростання дає змогу реконструювати потенційний фітоценотичний покрив [2, 34, 35]. Фізіономічними критеріями для того можуть слугувати чітко виражені елементи рельєфу (вододіли, схили, дно улоговин і балок, заплавні тераси річкових долин тощо), які у природних умовах зумовлюють формування різних едафотопів.

З математичних позицій геоботанічна інформація урбанізованих територій представлена матрицею з пропущеними значеннями [8]. Отже, встановлення ландшафтно-екологічних особливостей поширення корінних фітоценозів (розрахунки векторів середніх значень і матриць коваріацій, кореляцій та відстаней між об'єктами) здійснюється за наведеними вище формулами з тією тільки різницею, що кількість об'єктів  $n$  (рядків у матриці даних) замінюється на  $n_c$  — кількість комплектних об'єктів, тобто об'єктів, що не мають пропущених значень (еталонні ділянки). Завдання реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву полягає у заповненні пропусків числами, що характеризують певний тип рослинного покриву. Цьому завданню найбільш адекватною є математична теорія прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності, особливо той її розділ, який розглядає прийняття оптимальних рішень на основі здійснення випробувань [3, 8]. Математичний апарат здійснення процедури прогнозування є досить розмаїтий і використовується, зокрема, для прогнозування покладів корисних копалин [3]. Заповнення пропущених значень може здійснюватися середніми значеннями, за допомогою регресії на значення відомих змінних та методу головних компонент [8]. Використання цих методів для цілей ретроспективного картографічного моделювання рослинного покриву в умовах урбанізованих територій повинно проводитися з певними застереженнями у зв'язку з великою часткою пропущених значень у матриці вихідних даних (недостатня інформація про корінні насадження). Інша причина полягає у різній формі представлення даних геоботанічної інформації.

Ознаки, значення яких подані у матриці даних, можуть бути виміряні у різних шкалах: кількісній, ординальній (порядковій) та номінальній [5, 8, 10].

До кількісних показників можна віднести морфометричні показники рельєфу (абсолютна висота, крутизна поверхні, експозиція, коефіцієнт розчленування поверхні), механічний склад (вміст фізичної глини), вміст поживних речовин тощо. Ознака, виміряна в ординальній шкалі, дає змогу впорядкувати об'єкти за ступенем прояву певної властивості, але не дає кількісної міри для її вираження (наприклад, шкали зволоження та трофності ґрунту Алексеєва-Погребняка, біоіндикаційні шкали екологічних режимів). Для вимірювання зв'язку між порядковими ознаками слід використовувати коефіцієнти кореляції Спірмена і Кендала [9]. З певною обережністю з порядковими ознаками можна виконувати математичні операції, як з кількісними [12]. Показник, виражений у номінальній шкалі, дає змогу розбити об'єкти на групи, однорідні за властивістю, виражені цією ознакою, але при цьому впорядкування груп не вводиться. Номінальні ознаки представляються у квазічисловій формі, тобто їх градаціям присвоюють умовні числові коди. Прикладом може слугувати інформація про геологічну будову, четвертинні відклади, геоморфологію, ґрунтовий покрив, ландшафти, відомості про корінний та похідний рослинний покрив. Якщо коди служать тільки для того, щоб відрізнити одну категорію від іншої, припустимо, використовувати тільки методи аналізу таблиць спряженості, побудову гістограм та деякі інші. Значно ширші можливості дає попереднє цифрування, тобто побудова кількісної шкали присвоєнням категоріям ознаки таких чисел, котрі можна використовувати як звичайні [8]. Після цифрування можна використовувати будь-які методи прикладного статистичного аналізу, зокрема заповнення пропущених значень, компонентний аналіз, дискримінантний аналіз, аналіз структури залежностей між змінними, кластерний аналіз.

Дискримінантний аналіз є ефективним методом побудови правил для діагностичної класифікації нових об'єктів за наявності навчальних вибірок [5, 22]. Для ретроспективного картографічного моделювання рослинного покриву урбанізованих територій цей вид аналізу може бути успішно використаний за наявності достатньої інформації про корінний рослинний покрив, зокрема при доброму його збереженні в умовах міста та приміської зони. Оскільки інформація про поширення корінних насаджень на території міста, як звичайно, є недостатньою, дослідження урбанізаційної трансформації рослинного покриву доцільно проводити з використанням методів розділення суміші розподілів, кластерного аналізу (розбиття сукупності об'єктів на однорідні групи) та методу головних компонент (цілеспрямоване зменшення вимірності простору ознак та можливість графічної візуалізації даних із збереженням інформації про кластерну структуру). Розділення суміші двох нормальних сукупностей для ретроспективного моделювання рослинного покриву використовувалось нами у дослідженнях урбанізаційної трансформації лучно-болотної рослинності в умовах Львова [28] на підставі апріорної інформації про вплив талих льодовикових вод на формування ландшафтів міста. За наявності часткових навчальних виборок (в обсязі 3–5 % від загальної кількості об'єктів) та інформації про кількість класів (типів рослинного покриву) кластерний аналіз дає змогу отримати змістовну та обґрунтовану класифікацію [8], графічною інтерпретацією якої є карта відновленої рослинності. Оцінювання співвідношення багатовимірних виборок у просторі ознак може бути виконана якісно без використання статистичних критеріїв [22] побудовою дендрограми виборок або

ординації об'єктів (графічної візуалізації) об'єктів у системах координат вихідних показників або головних компонент [5, 24, 29]. Стандартне математичне збереження ЕОМ, яке реалізує вказані методи [3, 8], повною мірою може застосовуватися для ретроспективного картографічного моделювання рослинного покриву урбанізованих територій.

Реконструктивне геоботанічне картування рослинного покриву з використанням методів багатовимірного статистичного аналізу ми проводили на прикладі міста Львова, територія зеленої зони якого характеризується великою розмаїтістю ландшафтів [13, 15, 16, 23]. Окремі результати, які стосуються насаджень *Fagus sylvatica* L., наведені у даній науковій розвідці.

Дослідження проводили методом топографічної індикації [19]. Морфометричний аналіз рельєфу здійснювали за допомогою топографічних карт масштабу 1:10000 поділом карти на елементарні квадрати площею 25 га [25, 26]. Ландшафтно-екологічні особливості поширення букових насаджень вивчали на прикладі їх островних залишків (паркові насадження) та ділянок в околицях міста [2, 6, 31, 34, 35]. Ураховуючи значну гетерогенність ландшафту та неможливість досягти повної територіальної відповідності екологічних груп рослинності з елементами рельєфу, ми додатково вивчали стан сучасного фітоценотичного покриву міста та його особливості відповідно до змін гідроедафічних умов. Ретроспективний аналіз території Львова виконано на підставі літературних джерел [15, 16, 23, 30]. Екологічну типізацію умов місцезростань здійснювали зменшенням вимірності простору ознак та графічної візуалізації даних у системі координат головних компонент [1, 5, 8, 22]. Загалом використовуваний метод типізації умов належить до інтуїтивно-статистичних (у рамках діалогу людини і ЕОМ) [21], оскільки для прийняття остаточного рішення додатково аналізуються інші показники території. Оброблення цифрового матеріалу, оцінку достовірності величин проводили із використанням методів одно- та багатовимірного статистичного аналізу [1, 3, 5, 8-10, 12, 14, 17].

Як свідчать результати ретроспективного аналізу території Львова, інтенсивний розвиток міста, перетворення його у значний економічний центр супроводжувалися активним наступом на природу [15, 30]. Первісна рослинність міста помітно змінилася внаслідок осушування лук і торфовищ, розширення площ сільськогосподарських угідь, зменшення кількості озер, ставків і малих річок. Навіть у недалекому минулому (станом на 01. 07. 1942 р.) непридатні для сільськогосподарського використання землі становили близько 24,5 % площі міста [30]. Більшу частину цієї площі займали луки і болота Білогорці, Левандівки, Знесіння, Замарстинова і долини Полтви. Болотистоторф'яну місцевість представляли раніше і сучасні транспортні магістралі: пр. Свободи, пр. Шевченка, площа А. Міцкевича та інші [15]. Близько половини території сучасного міста займали букові насадження, островні залишки яких представлені масивами парків (Залізна Вода, Погулянка, Стрийський). Про це свідчить і специфічний ландшафт території з яскраво вираженими складками рельєфу: крутими схилами, глибокими балками і лощинами [15]. На місці дубових лісів, які росли на рівнинних, погано дренованих ділянках плато на південь від Львова, зараз поширені сільськогосподарські угіддя. Насадження з домінуванням сосни

звичайної і вільхи чорної у лісопарковому поясі міста у теперішній час поширені на незначній площі.

Таблиця 1

Статистичні параметри емпіричних рядів розподілу морфометричних показників рельєфу території м. Львова та ділянок поширення букових насаджень

Показник	Статистичні параметри		
	М	$\sigma$	V
Територія м. Львова у межах компактної житлової забудови (S = 10025 га)			
Максимальна висота, м	325,1 ± 1,6	32,49 ± 1,15	10,0 ± 0,4
Мінімальна висота, м	305,1 ± 1,5	30,81 ± 1,09	10,1 ± 0,4
Вертикальне розчленування поверхні (відносна висота), м	18,5 ± 1,0	20,22 ± 0,71	109,3 ± 7,1
Експозиція схилів (азимут), градус	145,9 ± 5,0	100,33 ± 3,54	68,8 ± 3,4
Ділянки фактичного поширення букових насаджень (S = 1375 га)			
Максимальна висота, м	357,6 ± 2,4	17,47 ± 1,67	4,9 ± 0,5
Мінімальна висота, м	311,1 ± 2,7	20,06 ± 1,91	6,5 ± 0,6
Вертикальне розчленування поверхні (відносна висота), м	45,3 ± 3,2	23,65 ± 2,26	52,3 ± 6,2
Експозиція схилів (азимут), градус	127,6 ± 13,3	98,87 ± 9,43	77,5 ± 10,9
I головна компонента	1,09 ± 0,09	0,695 ± 0,066	-
II головна компонента	1,13 ± 0,09	0,662 ± 0,063	-

Букові ліси в околицях м. Львова дуже потерпіли у роки Першої світової війни [15]. Так, на паливо повністю були вирубані насадження Лоншанівської височини (Шевченківський гай). У 60-их роках після створення житлового мікрорайону Майорівка частина букових насаджень лісопаркової зони опинилася усередині житлової забудови і після впорядкування набула вигляду парку. На основі ретроспективного аналізу та маршрутних обстежень інформація про поширення насаджень *Fagus sylvatica* встановлена для 47 елементарних ділянок міста. В околицях Львова ліси із домінуванням *Fagus sylvatica* збереглися у східній частині лісопаркового поясу міста (Винниківське лісництво). Тут для встановлення ландшафтно-екологічних особливостей поширення букових насаджень додатково підбрано 8 ділянок.

Для території Львова загалом характерна значна неоднорідність рельєфу, яка підтверджується статистичним аналізом морфометричних показників (табл. 1). На підставі величин коефіцієнта вертикального розчленування поверхні можна виділити рівні периферійні ділянки міста з перевищеннями висот  $\Delta h=0-30$  м та смугу підвищень ( $\Delta h=40-150$  м) у середній і східній частинах Львова. Неоднорідність території Львова підтверджується аналізом емпіричних рядів розподілу мінімальних і максимальних висот. Система понижень поверхні міста об'єднує Білгородську долину, Львівську улоговину та долину р. Полтви. Ці ділянки відзначаються найменшими величинами абсолютних і відносних висот та низькими показниками крутості поверхні.

Наявність схилів і височин на території Львова вносить помітні зміни у кількісний перерозподіл факторів середовища, що створює

неоднакові потенційні можливості для формування різних фітоценозів. Результати досліджень ландшафтно-екологічних особливостей поширення букових насаджень (табл. 1) свідчать про те, що у природних умовах вони займають ділянки, які відзначаються високою крутизною поверхні та приуроченістю до вершин та верхніх частин схилів переважно північно-східних експозицій. Цим досягається оптимальна зволоженість ґрунту та порівняно м'який мікроклімат місцезростань [27]. На погано дренованих рівних ділянках плато й похилих схилах, де за значної кількості опадів спостерігається оглеєння ґрунтів, букові деревостани заміщаються насадженнями дуба звичайного (*Quercus robur* L.)

Одновимірне розміщення елементарних ділянок хоча і дає дуже багато інформації для розуміння закономірностей функціонування рослинності, його розглядають як попередній варіант досліджень, оскільки варіювання рослинності, як звичайно, багатовимірне. Двовимірна ординатія дає змогу встановити залежності зміни рослинного покриву при постійному значенні однієї із координат, що більшою мірою відповідає поняттю екологічної ніші [6, 7]. Так, у системі координат максимальних і відносних висот (табл. 2) вже можна частково виділити зону (екологічний ареал) потенційного поширення букових насаджень. Трохи важче це зробити у системі координат максимальних і мінімальних висот, де екологічні ареали лісоутворюючих видів мають вигляд видовжених еліпсів. Висока корельованість морфометричних показників рельєфу утруднює екологічну типізацію місцезростань досліджуваної території. Значно простіше це можна було б зробити в разі рівномірного заповнення кореляційної решітки, що можливе тільки за відсутності кореляції між координатними показниками. Досягти певного ефекту дозволяє нормалізація логнормального розподілу відносних висот  $\Delta h$  (показник асиметрії  $A=1,115\pm 0,123$ ) логарифмуванням варіант ряду.

Оскільки морфометричні показники рельєфу корельовані між собою, можна зробити висновок, що дані спостережень можуть бути пояснені невеликою кількістю нових змінних, які безпосередньо не вимірюються, але можуть бути отримані через лінійну комбінацію вихідних даних. Це дає змогу зменшити вимірність простору спостережень. Для того, щоб звести показники, виражені у різних одиницях виміру, до одного масштабу, використовували нормування показників:

$$t_i = (x_i - X) / s \quad (6)$$

де  $X$  — середня арифметична величина;  $x_i$  — варіанта ряду;  $s$  — середнє квадратичне відхилення;  $t$  — нормована величина.

На другому етапі отримували коваріаційну матрицю через добуток перетвореної матриці на відповідну транспоновану матрицю і поділу на відповідне число  $(n-1)$  ступенів свободи. На третьому етапі визначали власні числа і власні вектори матриці. На четвертому етапі множенням перетвореної матриці на матрицю власних векторів отримували головні компоненти. Графічно процедура розрахунків зводиться до переміщення початку координат у центр даних і повороту осей координат таким чином, щоб абсциса проходила у напрямі максимальної дисперсії множини даних [6, 24].



Вихідна кореляційна матриця для рядів розподілу максимальних, мінімальних висот і натуральних логарифмів відносних висот має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.779 & 0.367 \\ 0.779 & 1.000 & -0.191 \\ 0.67 & -0.191 & 1.000 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Таблиця 2

Розміщення елементарних ділянок території Львова у системі координат максимальних висот та вертикального розчленування поверхні (знаменник — еталонні ділянки поширення букових насаджень)

H <sub>max</sub> М	Вертикальне розчленування поверхні Δh, м													n <sub>i</sub>	У <sub>i</sub>
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	150			
240	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	
250	15	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	2	
260	1	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	9	
270	1	9	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	13	
280	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	17	
290	-	3	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	9	23	
300	3	1	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-	15	22	
310	16	10	-	5	1	2	1	-	-	-	-	-	35	13	
320	16	29	3	6/1	3/1	4/1	2	-	-	-	-	-	63/3	15/40	
330	24	23/2	6	3/2	-	1	2	-	-	-	-	-	59/4	10/20	
340	12	27/1	8/1	3	5/2	2/1	3	-	-	-	-	-	60/5	17/32	
350	9	14	9/1	4/3	5	3/2	1	1	-	-	-	-	46/6	20/35	
360	-	4	1	3/2	7/5	6/6	5/4	1/2	-	-	-	-	27/20	41/52	
370	-	3	5	2/3	4/5	1/1	3/1	-	1/1	1	-	-	20/11	38/44	
380	1	3	2	2/2	2/2	-	1	-	-	1	-	-	12/4	31/35	
390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1	1/1	150/150	
410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/1	-	1/1	120/120	
n <sub>j</sub>	100	143/3	47/2	35/13	32/15	19/11	18/5	2/2	1/2	2	1/1	1/1	401/55	18/45	
x <sub>j</sub>	313	320/333	329/345	329/354	343/361	342/353	348/362	355/360	370/365	375	410/410	390/390	325/358	-	

Результати розрахунків за методом головних компонент наступні:

$$Y_1 = 0.727 t_1 + 0.664 t_2 + 0.175 t_3; L_1 = 1.801; \quad (8)$$

$$Y_2 = 0.146 t_1 - 0.401 t_2 + 0.904 t_3; L_2 = 1.144; \quad (9)$$

$$Y_3 = -0.671 t_1 + 0.631 t_2 + 0.388 t_3; L_3 = 0.055; \quad (10)$$

де  $Y_i$  — головні компоненти;  $t_1, t_2, t_3$  — нормовані величини максимальних, мінімальних висот і натуральних логарифмів відносних висот;  $L_i$  — власні значення.

Перші дві компоненти пояснюють 98 % дисперсії вибірки, причому дисперсія за першою компонентою є досить суттєва. Власні вектори параметрів дають змогу оцінити і їхню інформативність. Очевидно, що перша головна компонента є переважно компонента абсолютної висоти (максимальні значення власних векторів припадають на максимальні

$H_{\max}$  і мінімальні  $H_{\min}$  висоти), а у другій компоненті найбільше значення власних векторів має натуральний логарифм відносних висот як показник крутизни поверхні. Саме цей факт пояснює високу інформативність двовимірної ординації, де осями служать вказані морфометричні показники рельєфу.

Положення точок (елементарних ділянок) у координатах перших двох компонент дає змогу досить чітко виділити ділянки потенційного поширення букових насаджень. Подальшу процедуру екологічної типізації місцезростань території м. Львова здійснювали так: кожна точка (елементарна ділянка) характеризується просторовими (широта, довгота) та компонентними координатами. На основі значень головних компонент встановлювали приналежність точки до зони потенційного поширення букових насаджень, надавши їй при тому певний числовий код. У простому випадку присвоєння числового коду здійснюється у рамках двійкової системи (0/1 — точка не належить/належить екологічному ареалу лісоутворюючого виду у вибраній системі координат). У сумнівних випадках, які трапляються при попаданні точки у зону перетину різних екологічних ареалів, доцільно використовувати показники, що не використовувались у компонентному аналізі (наприклад, експозиція схилів, четвертинні відклади, механічний склад ґрунту тощо). Це призводить до поєднання декількох методів реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву. Відображення числових кодів у системі просторових координат фактично є етапом картографічної інтерпретації екологічних характеристик території із зміненою рослинністю за ознаками корінного рослинного покриву.

У своїй роботі ми використовували і цілком новий підхід — метод просторової інтерполяції. На нашу думку, просторові координати ділянок також несуть певне змістове навантаження. Процес реконструкції корінного рослинного покриву в умовах міста легше здійснювати у разі задовільного його збереження у приміській зоні. Так, потенційне зростання букових насаджень у східній частині міста сприймається більш вірогідним, ніж у північній. По-друге, прояв властивостей ділянки легше спрогнозувати, якщо відомі властивості сусідніх ділянок. Відстань між ділянками у площині просторових координат сприймається нами як частковий випадок відстані у багатовимірному просторі ознак.

Аналіз рельєфу та особливостей його зв'язку з гідро-едафічними умовами місцезростань дає підстави вважати потенційною зоною поширення букових насаджень ділянки території м. Львова, які характеризуються такими статистичними параметрами:

максимальна висота  $H_{\max}$ , м :  $X = 349,1 \pm 1,9$ ,  $\sigma = 21,75 \pm 1,35$ ;

мінімальна висота  $H_{\min}$ , м :  $X = 308,9 \pm 2,4$ ,  $\sigma = 27,56 \pm 1,72$ ;

відносна висота  $\Delta h$ , м :  $X = 38,8 \pm 1,9$ ,  $\sigma = 21,92 \pm 1,36$ .

Їхня площа у межах компактної житлової забудови міста становить 3200 га. У межах виділеної зони букові насадження збереглися частково або цілком у межах 47 елементарних ділянок площею 1175 га. Висновки стосовно потенційного поширення букових насаджень підтверджуються й аналізом величин, які визначають особливості господарського (інтенсивність забудови) та рекреаційного (міська „лісистість” [32, 33] викорис-

тання території міста. Дуже розчленовані, вказані ділянки є, як звичайно, менше забудованими або зайняті малоповерховою забудовою. Ділянки потенційного поширення букових насаджень відзначаються також високою участю деревно-чагарникової рослинності. Це пояснюється як малою інтенсивністю забудови, так і сприятливими водно-фізичними властивостями ґрунтів.

Детальніші дослідження ландшафтно-екологічних особливостей поширення букових насаджень можуть стати основою для встановлення додаткових закономірностей. Так, південна, південно-західна і західна експозиції схилів імовірно свідчать про потенційне формування змішаних дубово-букових насаджень. Площа таких ділянок у межах забудови становить 1000 га. Ділянки у північній частині міста на межі різних ландшафтів, імовірно, є зоною формування сосново-дубово-букових насаджень.

Результати досліджень антропогенних змін фітоценотичного покриву урбанізованих територій можуть широко використовуватися у практиці містобудівництва. У зелених зонах міст, які являють собою єдину систему взаємозв'язаних і взаємообумовлених природних і штучних насаджень, проводиться велика робота з формування паркових фітоценозів. В одних випадках це робиться створенням нових насаджень на незаліснених територіях, в інших — реконструкцією приміських лісів, старовинних парків. Специфіка формування окремих типів насаджень значною мірою залежить від походження та історії розвитку біогеоценотичного покриву. Так, процес швидкого осушення ґрунтів, який інколи називають „біологічною ерозією” [11], супроводжується прискореною мінералізацією органічної речовини, незворотною коагуляцією колоїдів, втратою ними здатності накопичувати вологу. Велике значення має і загальний характер температурного режиму осушених ґрунтів, який сприяє акумуляції тепла у верхніх горизонтах і збільшенню фізичного випаровування. Ділянки потенційного зростання букових насаджень відзначаються високою ерозійною піддатливістю ґрунтів [27], тому відомості про їхнє поширення можуть служити основою для ландшафтного планування та протиерозійного влаштування території міста.

На основі результатів досліджень можна зробити такі висновки:

а) методи багатовимірної статистичної аналізу є ефективним засобом математичного оброблення геоботанічної інформації та інтерпретації отриманих результатів на кожному з етапів реконструктивного картографічного моделювання рослинного покриву;

б) у загальному випадку вибір методу досліджень урбанізаційної трансформації рослинного покриву повинен здійснюватися на основі оцінки інформативності показників, які характеризують властивості міської території;

в) у зв'язку з високою стабільністю геологічно-морфологічних особливостей території найперспективнішими методами реконструктивного геоботанічного картування є методи топографічної, геологічної та літологічної індикації;

г) унаслідок неповної визначеності геоботанічної інформації дослідження урбанізаційної трансформації рослинного покриву мають інтуїтивно-статистичний характер.

Авторами статті виконано наступні частини роботи: В. М. Скробала — теоретична частина, методи досліджень, математична оброблення та інтерпретація отриманих результатів, формулювання висновків; Р. М. Данилик — аналіз літературних джерел, ретроспективний аналіз території м. Львова, участь у маршрутних обстеженнях рослинного покриву, підготовка ілюстративного матеріалу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М.: Физматгиз, 1963. 500 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
3. Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Л.: Наука, 1976. 270 с.
4. Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н. Город и ландшафт. М.: Мысль, 1986. 238 с.
5. Владимирский Б. М. Математические методы в биологии. Ростов: Изд-во РГУ, 1983. 304 с.
6. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 259 с.
7. Дідух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. К.: Наук. думка, 1994. 280 с.
8. Енюков И. С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1986. 232 с.
9. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
10. Зайцев Г. Н. Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 184 с.
11. Заславский М. Н. Эрозиоведение. М.: Высш. шк., 1983. 320 с.
12. Иберла К. Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 398 с.
13. История городов и сел Украинской ССР. Львовская область. К.: Гл. ред. УСЭ, 1978. 795 с.
14. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
15. Кучерявый В. А. Зеленая зона города. К.: Наук. думка, 1981. 248 с.
16. Львівська область. Атлас. М.: ГУТК СРСР, 1989. 41 с.
17. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высш. шк. 1988. 239 с.
18. Марков Ю. Г. Городские системы: принцип территориального оптимума // Изв. Всес. геогр. о-ва. 1990. 122, № 3. С. 272—277.
19. Милкина Л. И. Методика крупномасштабного реконструктивного геоботанического картирования. К.: Наук думка, 1984. 136 с.
20. Мильков Ф. Н. Рукотворные ландшафты. М.: Мысль, 1978. 82 с.

21. Миркин Б. Н., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1982. 223 с.
22. Никитин К. Е., Швиденко А. З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.
23. Природа Львівської області / За ред. проф. К. І. Геренчука. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 150 с.
24. Сачок Г. И., Цуркова Т. Ф. Математикокартографическое моделирование природных условий Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1984. 252 с.
25. Симонов Ю. Г. Морфометрический анализ. М.: Издво Моск. ун-та, 1985. 31 с.
26. Сіренко І. М. Спроба морфометричного аналізу рельєфу м. Львова // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. Вип. 18. Львів: Світ, 1992. С. 27—32.
27. Скробала В. М. Вплив фітоценотичної структури міських насаджень на гідрологічний режим та сповільнення ерозійних процесів: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Львів: УкрДЛТУ, 1996. 23 с.
28. Скробала В. М., Данилик Р. М. Антропогенна трансформація лучноболотної рослинності (на прикладі м. Львова) // Укр. ботан. журн. 1998. 55, № 2. С. 133—138.
29. Скробала В. М., Данилик Р. М. Моделювання біогеоценотичного покриву урбанізованих територій методами багатовимірного статистичного аналізу // Екологічний стрес і адаптація в біологічних системах. Тернопіль: Вид-во Тернопільського держ. пед. ун-ту, 1998. С. 137—139.
30. Степанів О. Путівник Львова. Львів: Фенікс, 1992. 144 с.
31. Ярошенко П. Д. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы. М. Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 447 с.
32. Rowntree R. A. Ecology of the urban forest introduction to part I // Urban Ecology. 1984. 8. № 1—2. P. 1—11.
33. Sanders R. A., Stevens J. C. Urban forest of Dayton, Ohio: a preliminary assessment // Ibid. 1984. 8. № 1—2. P. 91—98.
34. Schulte W. Auswirkungen von Verdichtungen und Versiegelungen der Bodens auf die Pflazenwelt als Teil städtischer Ökosysteme // Inf. Raumentwickl. 1988. № 8—9. S. 505—515.
35. Stumpel A. H. P., Kalkhoven J. T. R. A vegetation map of the Netherlands, based on the relationship between ecotypes and types of potential natural vegetation // Vegetatio. 1978. 37. P. 163—173.

## SUMMARY

Viktor SKROBALA, Ruslana DANYLYK

### THE STUDY ON URBAN TRANSFORMATION OF PHYTOCOENOTIC COVER BY THE METHODS OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

The methods of mathematical elaboration and interpretation of geobotanical information in the process of large-scale reconstructive map graphical modeling of vegetative cover in urban conditions have been analyzed. The results of the investigations of urban transformation of *Fagus sylvatica* L. plantations in conditions of Lviv City have been presented.