

достатньо простих критеріях оцінки, які визначаються для гірських селітебних територій низькогірних та середньогірних ландшафтів. Ці показники послідовно включаються до факторного та кластерного аналізу, що і дозволяє оцінити екологічний стан території порівняно із модельними територіями цього типу.

Слід зазначити також, що доцільно оцінювати важливість того чи іншого критерію відповідно до типу гірського ландшафту, і проводити відбір найбільш відповідних критеріїв для кожного випадку, оскільки значення критеріїв та їх важливість можуть сильно відрізнятись для різних місцевостей гірських ландшафтів. Особливо це актуально для таких різних місцевостей ландшафтів, як річкові долини і міжріччя, які потребують принципово різних підходів до оцінки їхнього екологічного стану.

#### Література:

1. Кутляев А. Иерархичный кластерный анализ. , 2002. URL: [http://forum.gfk.ru/book\\_data/chapter11/html](http://forum.gfk.ru/book_data/chapter11/html)
2. Миллер Г.П. Ландшафтные исследования горных и предгорных территорий. – Л., 1974 – 168с.
3. Darlington, Richard B. Factor Analysis, 1999. URL: <http://comp9.psych.comell.edu/Darlington/factor.htm>
4. Electronic Textbook Of Statsoftinc.Com. URL: <http://www.statsoftinc.com/textbook/stathome.html>
5. Factor Analysis. Research Of Data Structure. , 2000, URL: [http://ieie.nsc.ru/%7Emeta-nsk/docs/Rostovtsev/book\\_datan/chapter07\\_1.DOC](http://ieie.nsc.ru/%7Emeta-nsk/docs/Rostovtsev/book_datan/chapter07_1.DOC)

#### Summary:

*T. Kobernichenko, M.Syrotyuk. METHODS OF EVALUATION OF THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE RESIDENTIAL MOUNTAIN AREAS*

The methods of the evaluation of the ecological conditions of the residential part in the mountain areas are described. The proposed methods are used for the evaluation of the middle-mountain and low-mountain landscapes in the Ukrainian Carpathians. The methods are based on the factor analysis and cluster analysis using the series of the ecological conditions parameters for the mountain villages.

УДК 910.27:912.43

Олександр МКРТЧЯН

### ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТОПОГРАФІЧНОГО ПОЛОЖЕННЯ НА СКЛАД ПРИРОДНОГО ДЕРЕВОСТАНУ

Раціональне планування та ефективне втілення заходів із охорони біорізноманіття потребують дослідження головних чинників, які визначають багатство флори та фауни певного ландшафту. Екологи загалом виділяють 2 види біорізноманіття:  $\alpha$ -різноманіття – видове різноманіття всередині певного місцепробування та  $\beta$ -різноманіття – різноманіття між місцепробуваннями, яке визначається амплітудою градієнтів факторів середовища в даному ландшафті (напр., [7]). Перше є характеристикою видової насиченості певного біоценозу, друге – характеристикою видового багатства ландшафту та є тісно пов'язаним із характеристикою ландшафтного різноманіття.

$\beta$ -різноманіття екосистем визначається різноманітністю екоотопів, що на локальному просторовому рівні обумовлене насамперед структурою ґрунтового покриву, зокрема – особливостями водно-повітряного та теплового режиму, структури ґрунту, його багатством на гумус та елементи живлення. Різноманітність властивостей ґрунту (контрастність ґрунтових мозаїк), в свою чергу, обумовлена насамперед морфологією рельєфу та пов'язаними із нею динамікою латеральних потоків речовини та розподілом поверхневих відкладів.

Дослідження зв'язків між просторовим розподілом видів та угруповань, та екологічними чинниками завжди було центральною темою досліджень екологів та геоботаніків. Особливо це характерне для того напрямку в геоботаніці, який базується на

концепції рослинного покриву – континуума. При цьому постає завдання формалізації таких зв'язків, їх представлення у вигляді кількісних співвідношень. Один з фундаторів даного напрямку Л. Раменський запропонував з цією метою так званий координатний метод, який “дозволяє однаково повно відбити і безперервність, і можливі стрибки, переломи екологічних рядів” [5, с. 32]. В подальшому цей напрямок досліджень розвивався представниками Уфімської школи геоботаніків [2], [3]. Зокрема, було розроблено більш досконалі методи ординації – впорядкування видів або угруповань вздовж осей конкретних екологічних факторів (прямі методи ординації) або осей максимального варіювання (непрямі методи ординації) [3]. Особливо широкий розвиток даний напрямок досліджень одержав протягом останніх десятиріч в західних країнах [8].

Із розвитком технології географічних інформаційних систем (ГІС) з'явилися можливості одержання полів кількісних характеристик геокомпонентів (наприклад, крутизни схилів), та обрахунку просторових залежностей між цими характеристиками, із використанням визначених залежностей для моделювання просторового розподілу невідомих характеристик. Ці можливості стали вагомим поштовхом у розвитку методів кількісного моделювання просторового розподілу живих організмів в залежності від факторів середовища. Таке моделювання, серед іншого, дає змогу оцінити реакцію екосистем, зокрема з точки зору їх біорізноманіття, на майбутні антропогенні зміни (структури землекористування, клімату тощо).

Серед екологічних градієнтів, які визначають розподіл природних біоценозів та їх окремих характеристик на локальному просторовому рівні, важливе місце займає градієнт, пов'язаний із відмінностями у топографічному положенні місцепробувань. Так, в слабо змінених ландшафтах кидається в очі чергування “зональної” рослинності, характерної для дренажних плакорів та схилів із низьким рівнем ґрунтових вод та доброю аерацією ґрунту, із “азональною” рослинністю, приуроченою до ґрунтів із постійним чи періодичним застоєм вологи і поганою аерацією, більшим чи меншим ступенем оглеєння. Ступінь аерації є важливим фактором, який впливає на екологічні та агрономічні властивості ґрунту, характеризує його водно-повітряний режим. Недостатня аерація внаслідок високого рівня ґрунтових вод, поверхневого заболочення, зумовленого затримкою вологи ілювіальним горизонтом важкого механічного складу на плоских ділянках, акумуляції внутрішньоґрунтового стоку та інших причин є поширеним явищем, яке зумовлює суттєве погіршення агрономічних та лісогосподарських властивостей, заміщення мезофільних фітоценозів гідрофільними. Ґрунти цих місцеположень часто характеризуються розвитком відновлювальних процесів (оглеєння), що зумовлює нагромадження токсичних для більшості рослин, а іноді й для людей, сполук (двовалентне залізо, алюміній, марганець, стронцій тощо). Проте, достатнє забезпечення ґрунтовою вологою протягом усього вегетаційного періоду (на відміну від плакорних та схилових місцеположень, де спостерігається періодичний дефіцит зволоження) сприяє високому біорізноманіттю як лучних, лучно-болотних та байрачних фітоценозів степової зони, так і трав'яно-чагарникового ярусу перезволожений ділянок лісів.

В нашому дослідженні зроблено спробу кількісно охарактеризувати топографічний екологічний градієнт, використовуючи аналітичні можливості геоінформаційних технологій. Дослідна ділянка розміщена в умовно корінному листяному лісі в околицях м. Львова на межі природних районів Давидівського пасма та Пасмового Побужжя. Як показник структури фітоценозів використовувався видовий склад едіфікаторних деревних видів, який виявив високий ступінь залежності від топографічного положення. Такий підхід дозволив суттєво спростити описи та аналіз. Польові описи включали 78 пунктів спостережень, рівномірно розміщених на ділянці площею 2000 \* 800 м. Для кожного пункту визначались формула деревостану, зімкнутість крон, основні характеристики (висота, ширина, щільність) переважаючих деревних порід.

Умовно корінний (за [4]) характер фітоценозу дозволив чітко виявити вплив топографічного екологічного градієнту, який в даному випадку має форму топографічної зональності. В автоморфних місцезолоннях корінний (клімаксовий) стан фітоценозу представлений чистими високобонітетними бучинами (*Fagetum*). В реальності бучини деінде містять домішки похідних порід (береза, сосна, смерека), які нерідко є рудиментами минулих порушень корінного стану. Гігоморфні місцезолоння (розміщені переважно по берегах струмків) характеризуються переважанням формації чорної вільхи (*Alnetum*). Між першими та другими міститься виражена перехідна зона різної ширини із переважанням формації грабу (*Carpetum*) із домішками буку та вільхи, причому співвідношення між різними видами змінюється поступово від дренованих верхніх ділянок схилів до перезволожених днищ ерозійних форм, від чистих бучин через мішані деревостани із грабом, до чистих вільшаників. Очевидно, така картина зумовлена відмінностями топографічно зумовлених екологічних чинників та різною життєвістю й конкурентною здатністю видів у різних умовах зволоження та дренажу.

Видовий склад фітоценозів може бути індикатором характеру едафічних умов. Індикатором можуть бути як трав'янисті рослини (у т. ч. підліску), так і деревні. Перші скоріше відбивають динамічні зміни умов середовища та можуть використовуватись як індикатори у випадку корінних антропогенних трансформацій первинних фітоценозів, проте вони є підвладними міжрічним флуктуаціям умов зволоження. Видовий склад корінних та умовно корінних деревостанів є більш стабільним індикатором, який, до того ж, індикує не лише характеристики верхньої частини ґрунтового профілю (як більшість трав'янистих рослин), але й його нижніх горизонтів та підґрунтя. У [1] показано можливості визначення типів умов місцезростання як за наявністю тих чи інших видів трав'янистих рослин, так і за бонітетом основних деревних порід.

Побудова формальної кількісної моделі зв'язку між структурою деревостану та екологічними чинниками включає кілька етапів. Першим етапом є формулювання єдиного кількісного показника, який визначатиме положення певного фітоценозу на обраній осі ординації. Такий показник повинен враховувати особливості екології конкретних видів (вимоги до зволоження та аерації ґрунту, стійкість до оглеєння тощо). В якості такого показника в даній роботі використовувався коефіцієнт гігрофільності деревостану, який є нечіткою мірою, що приймає значення від 0 до 1 та обраховується за формулою

$K_r = \sum_i (H_i * A_i)$ , де  $K_r$  – коефіцієнт гігрофільності,  $A_i$  – частка дерев даного виду у формулі деревостану,  $H_i$  – гігрофільність дерев даного виду. Останньому показнику присвоєно значення 1 для чорної вільхи (найбільш гігрофільної деревної породи на даній території), 0 для буку та інших порід, вимогливих щодо аерації ґрунту та чутливих до оглеєння, проміжні значення для порід, помірно вимогливих до аерації (напр., 0,4 для грабу). Результати обрахунків для деяких пунктів спостережень наведено у таблиці:

Таблиця 1.

**Формула деревостану та коефіцієнт гігрофільності деревостану у деяких точках спостережень**

Порода Точка	Бук	Граб	Вільха	Дуб	Береза	Інші		Коефіцієнт гігрофільності
						Вид	Кількість	
1	10	0	0	0	0		0	0.000
3	0	8	0	1	0	клен	1	0.360
8	5	4	0	1	0		0	0.200
9	2	6	0	2	0		0	0.320
10	10	0	0	0	0		0	0.000
11	1	4	5	0	0		0	0.660
12	7	0	1	2	0		0	0.180
13	4	3	3	0	0		0	0.420
14	7	2	1	0	0		0	0.180

Наступний етап полягав у визначенні показників, які кількісно характеризують особливості топографічного положення – морфології поверхні та характеру перерозподілу стоку. Морфологія земної поверхні у сучасних ГІС переважно описується цифровою моделлю рельєфу (ЦМР) у формі растрового шару регулярної матриці перевищень. За допомогою растрового моделювання – перетворення ЦМР за певними алгоритмами, можуть бути одержані похідні шари ряду морфометричних показників – ухилів, експозиції та кривизни земної поверхні, а також здійснений більш складний аналіз для визначення характеристик дренажної системи, моделювання руху поверхневих та ґрунтових вод тощо [5]. Ряд таких морфометричних показників та характеристик мають безпосередній вплив на перерозподіл вологи латеральними потоками, та, відповідно, на просторовий розподіл характеристик зволоження та аерації ґрунту. Так, кривизна поверхні (векторне поле, похідне від нахилу поверхні) характеризується значеннями увігнутості (випуклості) у плані та у профілі. Увігнутість у плані (поперечна, перпендикулярно до нахилу поверхні) характерна для днищ та нижніх частин схилів ерозійних форм рельєфу. Увігнутість у профілі (повздовжня, у напрямку нахилу) властива нижнім частинам депривіальних схилів (зміна вниз по профілю більш крутих схилів пологішими), а також притерасним зниженням заплавам та ділянкам днищ ерозійних форм при їх переході з гір (височини) на низини. В обох випадках морфологія поверхні сприяє нагромадженню надлишкової вологи у ґрунтовому профілі та формуванню гігоморфних ґрунтів та гігрофільних екотопів.

Для використання морфометричних показників у якості індикаторів водно-повітряного режиму ґрунту необхідно встановити ступінь та характер залежності між цими показниками та деякою ознакою, яка характеризує цей режим, перш за все у плані його впливу на структуру біоценозів. Такою ознакою і був визначений вище коефіцієнт гігрофільності. Морфометричні показники, які найкраще узгоджуються із зумовленими даним екологічним градієнтом просторовими варіаціями структури деревостану, підбирались експериментальним шляхом, методом пошуку показників із найвищим коефіцієнтом кореляції із визначеним у точках спостережень коефіцієнтом гігрофільності. Кінцевий набір показників включав: крутизну поверхні (коефіцієнт кореляції  $r = -0,25$ ), повздовжню кривизну ( $r = 0,337$ ); поперечну кривизну, згладжену фільтром  $35 \times 35$  м ( $r = 0,324$ ); акумуляцію стоку – сумарну площу з якої надходить стік у дане місце за відсутності втрат ( $r = 0,476$ ); запропонований І. Муром та ін. [9] коефіцієнт СТІ, який визначався як натуральний логарифм величини акумуляції стоку, поділеної на тангенс крутизни поверхні ( $r = 0,323$ ). Для перевірки значимості кореляційного зв'язку у кожному випадку використано критерій  $\chi^2$ .

Далі за значеннями цих показників у точках спостережень, одержаними шляхом накладання векторного шару пунктів спостережень на відповідні растрові шари, обраховано емпіричну модель множинного лінійного регресійного зв'язку із середньою квадратичною похибкою регресії 0,15 та значенням критерію  $\chi^2$ , яке дорівнює 1,9 (із 5 ступенями свободи). За одержаним рівнянням множинної регресії та вищезазначеними растровими шарами було обраховано похідний шар ступеню гігрофільності екотопів, із усередненням одержаних значень за морфологічно однорідними елементами рельєфу для зменшення випадкових похибок.

Найменші значення коефіцієнту властиві крутим, добре дренованим схилам, найменші – днищам долин водотоків. Ділянки з високим значенням коефіцієнту, найімовірніше, характеризуються несприятливими умовами аерації та надмірним зволоженням, тут формуються гігрофільні екотопи із властивим їм видовим складом та структурою природних біоценозів. Засоби ГІС дозволяють легко визначити частку екотопів різного ступеня гігоморфності у загальній площі, закономірності їх поширення, оцінити загальні запаси біомаси різних деревних порід тощо.

Отже, здатність ГІС аналізувати просторові зв'язки між різними характеристиками, зокрема, визначеними у полі показниками структури біоценозів, та одержаними шляхом

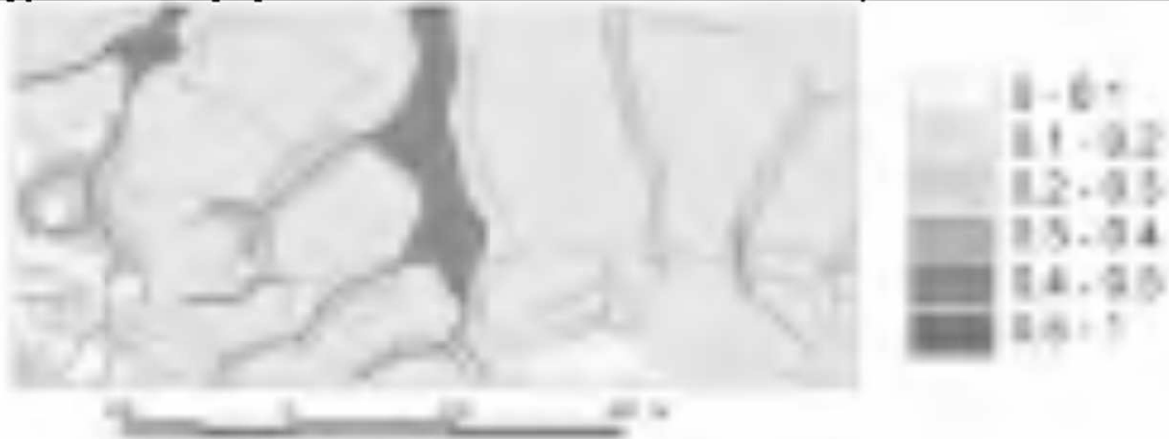


Рисунок 1. Коефіцієнт гідрофільності екотопів, одержаний шляхом індикації за морфометричними характеристиками рельєфу та формулою умовно-корінного деревостану у 78 точках.

обробки за певними алгоритмами ЦМР морфометричними показниками, надає небачені раніше можливості щодо аналізу залежностей між екологічними градієнтами та структурою біоценозів. Одержані шляхом перетворення ЦМР растрові шари морфометричних характеристик можуть ефективно використовуватись для індикації розміщення гідрофільних екотопів, які є нерідко є місцепробуваннями цінних та рідкісних видів флори та фауни, що потребують охорони. Топографічний екологічний градієнт, попри свою виразність, є лише одним із екологічних градієнтів, що визначають структуру наявних біоценозів. Комплексне моделювання екологічних градієнтів, які впливають на характеристики біоценозів, зокрема їх біорізноманіття, із використанням кількісних методів та можливостей геоінформаційних технологій, є перспективним напрямком досліджень, який сприятиме кращому теоретичному розумінню чинників формування складу та структури біоценозів, та більш ефективному вирішенню прикладних завдань збереження та підвищення біорізноманіття природних екосистем.

#### Література:

1. Горшенин Н. М., Бутейко А. И. Определение типов условий местопроизрастания. - Ленинград, 1962.
2. Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии. - М.: Наука, 1985.
3. Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология: принципы и методы. - М.: Наука, 1978.
4. Міллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій. - Київ: ІЗМН, 1996.
5. Мкртчян О. Оцінка точності цифрової моделі рельєфу та її використання в моделюванні // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2002. - №62. - С. 125-130.
6. Раменский Л. Г. Избранные работы. проблемы и методы изучения растительного покрова. - Ленинград, 1971.
7. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. - М.: Прогресс, 1980.
8. Guisan A, Zimmermann N. Predictive habitat distribution models in ecology // Ecological Modelling. - 2000 - № 135 (2000). - P. 147-186.
9. Moore I.D., Gessler P. E., Nielsen G. A., Peterson G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis // Soil Science Society of America Journal. - 1993. - Vol. 57. - P. 443-452.

#### Summary:

*Mkrтчian O.* MODELING OF THE INFLUENCE OF TOPOGRAPHIC POSITION ON THE COMPOSITION OF NATURAL TREE STAND USING GIS

The paper analyses the influence of topographic gradient on the composition of natural tree stand. Detailed DEM for the study area was used as a data source for topographic indicators of tree stand composition. A multiple regression model was build using data on tree stand composition and morphometric measures gathered on 78 cites evenly distributed over the study area. As a result of modeling, the composite indicator of tree stand hydromorphy was mapped showing a spatial distribution of well drained and aerated vs. hydromorphic and waterlogged biotopes.