

УДК 910.26: 911.52

**МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК З ВИКОРИСТАННЯМ ТОПОГРАФІЧНИХ ІНДЕКСІВ****О. Мкртчян***Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна*

Розглянуто особливості моделювання залежностей між рельєфом та екологічними характеристиками з використанням топографічних індексів, обчислених за цифровою моделлю рельєфу. Наведено порівняльну характеристику застосування дискретної та континуальної концептуальних моделей в еколого-геоморфологічних та ландшафтно-екологічних дослідженнях. Наведено формулювання найпоширеніших топографічних індексів та проілюстровано застосування індексу СТІ в ландшафтно-екологічному аналізі.

Ключові слова: топографічні індекси, ландшафтно-екологічний аналіз, цифрова модель рельєфу.

Рельєф є одним з найважливіших чинників геопросторової диференціації ландшафтних характеристик. Відомо, що від положення у рельєфі значно залежать клімат, ґрунти, рослинність, розподіл вологи, тип та інтенсивність ерозійних процесів. Морфометричні характеристики широко використовують для інтерполяції кліматичних даних, як основу розмежування ґрунтових ареалів, наприклад, у разі картування ґрунтів з використанням методу пластики рельєфу. Ціла концепція регіонального (класичного) напряму ландшафтознавства ґрунтується на твердженні про об'єктивну ієрархію територіальних одиниць – природних територіальних комплексів, приурочених до різномасштабних елементів і форм рельєфу. Згідно з положенням відомого ряду Солнцева, кожен природну єдність трактують як таку, що історично склалась і відокремилась, передусім, у процесі розвитку літогенної (геолого-геоморфологічної) основи [1]. У цьому випадку до контурів, утворених формами рельєфу різного рангу та їхніми елементами, прив'язують характеристики інших геокомпонентів, оцінні показники тощо.

Аналогічні підходи до картування та оцінки природних умов розроблено в деяких країнах далекого зарубіжжя. Одним з найстарших – є започаткована в Нідерландах у 50-х роках методика фізіографічного ґрунтового знімання, яка передбачає використання форм рельєфу та типів рослинності, виділених за аерофотознімками, для окреслення контурів одиниць ґрунтового покриву. Приблизно в цей же час австралійська Організація наукових та промислових досліджень (CSIRO) з метою швидкого рекогносцирувального знімання територій, які потребують класифікації земель для сільськогосподарських цілей, розробила методику картографування земельних систем, в основі якої – виділення (переважно за геоморфологічними критеріями) ієрархічної

системи територіальних одиниць [4, 5]. Близькою до неї є розроблена британськими дослідниками та використана під час досліджень у Малайзії методика картування граней місцевості, які визначали як елементи ландшафту, розташовані на певній конкретній породі або відкладах, що мають однорідні ґрунти та водний режим [13]. Коначер та Дальрїмпл запропонували дев'ятиелементну модель земної поверхні (модель ландшафтної катени), яка є ідеальним профілем типового випукло-увігнутого схилу, кожний елемент якого має специфічну морфологію та комплекс переважних геоморфологічних та гідрологічних процесів [6].

В усіх зазначених прикладах рельєфу описують з використанням дискретної концептуальної моделі. Ця модель відображає геопростір як мозаїку дискретних об'єктів (у нашому випадку – форм та елементів рельєфу), розділених лінійними межами. Альтернативною є континуальна концептуальна модель, яка трактує простір як поле (континуум), кожній точці якого відповідає деяке значення певної величини (або сукупності величин), яке може змінюватись від точки до точки. У цьому разі нема, як такого, поняття окремих об'єктів (цілісностей) та їхніх меж. Поняття поля ввів у науку в ХІХ ст. Фарадей, який, розробляючи вчення про електрику, виявив, що ми ліпше зрозуміємо електричні явища, якщо будемо вважати силу функцією простору та часу, тобто перейдемо до поняття про поле сил. Зазначені концептуальні моделі відповідають формам просторових мов, що їх виділив Карнапп [3]. Як виявив Харвей, “зазначеним формам мови не приділялось належної уваги у філософській літературі, хоча можлива їхня подальша розробка та розвиток. Для географа розуміння особливостей цих мов має життєво важливе значення, оскільки ... ми змушені ними користуватись” [3, с. 201]. У базах даних геоінформаційних системах (ГІС) цим концептуальним моделям відповідають векторний та растровий способи зображення (моделі) даних. Проте, як зазначили Гудчайлд та Барроу, відмінність між цими моделями даних передбачає набагато більше, ніж просто технічні аспекти зображення та збереження географічної інформації. (Goodchild, 1989, 1992; Burrough, 1992, за [10]).

У геоморфологічних дослідженнях набули поширення обидві концептуальні моделі. Дискретну модель переважно використовують у геоморфологічному картуванні, морфогенетичному аналізі тощо, тоді як континуальна модель набула поширення в морфометричному аналізі (показники ухилів поверхні, горизонтального та вертикального розчленування, перевищення над базисом ерозії тощо), в динамічній геоморфології. Черваньов виявив велику глибину розмежування дискретного та континуального напрямів геоморфологічного аналізу, зазначивши, що це розмежування стосується не лише системи методів аналізу, а й самого підходу до об'єкта (предмету) дослідження, певного бачення свого об'єкта [2]. Учений вважав просторово-часову безперервність поверхні літосфери головною властивістю рельєфу як матеріального об'єкта.

З огляду на це, дещо нелогічним виглядає той факт, що в еколого-геоморфологічних та ландшафтно-екологічних (еколого-ландшафтознавчих) дослідженнях різко переважає дискретна концептуальна модель, тоді як дослідження з використанням альтернативної континуальної моделі поширені мало. Причиною цього, серед іншого, є технічні труднощі в застосуванні методів, що ґрунтуються на континуальній моделі, з використанням старих картометричних засобів та методик (вимірювання палетками і курвіметрами, накладання карт, перемальованих на кальку тощо). Проте з появою ГІС і засобів комп'ютерного геоінформаційного аналізу та моделювання з'явилися нові широкі можливості у використанні методів досліджень, які ґрунтуються на континуаль-

ній концептуальній моделі. Зокрема, цифрові моделі рельєфу (ЦМР) стали звичною основою для морфометричного аналізу та перетворились на потужний інструмент геоморфологічних і ландшафтних досліджень.

Окрім звичайних для геоморфологів показників ухилу поверхні, її розчленування тощо, розроблено низку показників (індексів), які характеризують рельєф з екологічного погляду і дають змогу визначати зумовлені положенням у рельєфі ландшафтно-екологічні характеристики. Найвідоміший з них складений топографічний індекс (СТІ, топографічний індекс вологості), запропонований Муром та Гесслером, який розраховують за формулою

$$СТІ = \ln(A_c / \tan \beta),$$

де A_c – площа, з якої надходить стік на одиницю замикального контуру, β – ухил поверхні [12]. Цей індекс відображає врівноважене надходження вологи внаслідок її латерального перерозподілу на схилах [8] та відображає положення у ландшафтній катені: невеликі його значення характерні для елювіальних та транселювіальних місцеположень, де переважають процеси винесення вологи, більші значення – для акумулятивних та супераквальних місцеположень, де накопичуються волага. Оскільки процеси перерозподілу вологи тісно впливають на хід ґрунотворних процесів, то індекс СТІ тісно корелює з низкою ґрунтових характеристик. Наприклад, Гесслер та ін., досліджуючи просторову варіацію ґрунтового покриття в межах катени площею 2 га, виявили, що індекс СТІ пояснює 71% просторової варіації потужності горизонту А та

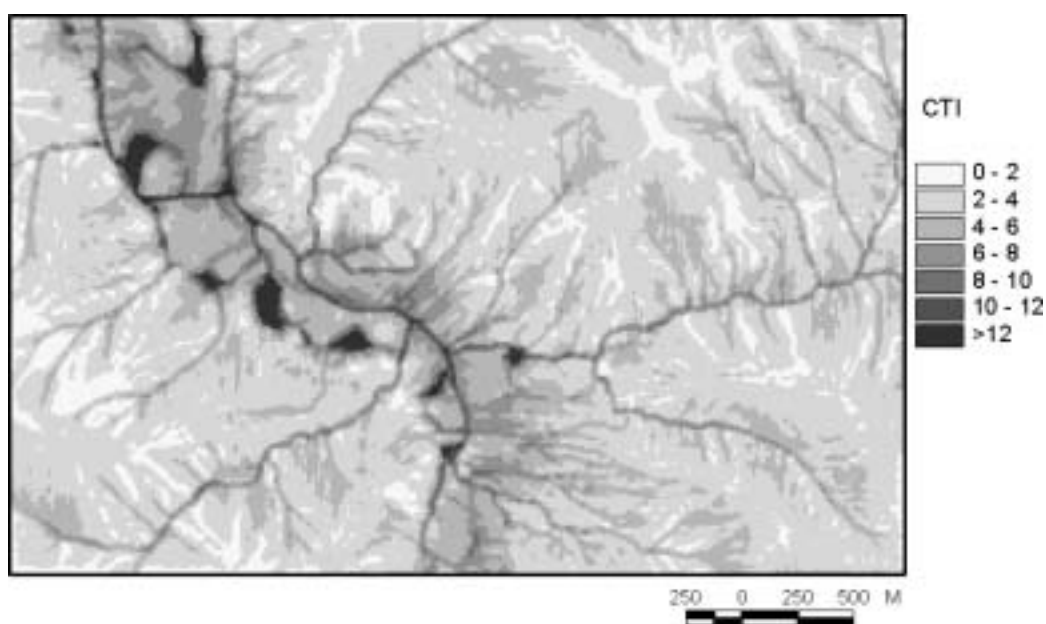


Рис. 1. Складений топографічний індекс у межах дослідної ділянки в долині верхньої течії р. Дністер (район с. Верхній Лужок).

84% варіації потужності всього ґрунтового профілю. [9]. Наші дослідження на підставі даних ґрунтових спостережень та аналізів у межах 24 розрізів у днищі та на схилах долини верхньої течії р. Дністер дали змогу виявити досить високий позитивний кореляційний зв'язок індексу СТІ зі значеннями потужності горизонтів $A+AB$ і сольовим рН: значення критерію t (критерій Стьюдента) $t = 1,5$ для потужності та 2,4 для рН, що відповідає рівням значущості, відповідно, 0,9 та 0,99.

На рис. 1 та 2 показані одержані шляхом геоінформаційного аналізу ЦМР карти розподілу показника СТІ для двох ключових ділянок.

Наші польові спостереження також дали змогу виявити залежності між значеннями індексу СТІ та формулою деревостану, визначеною у 77 пунктах, рівномірно розмі-

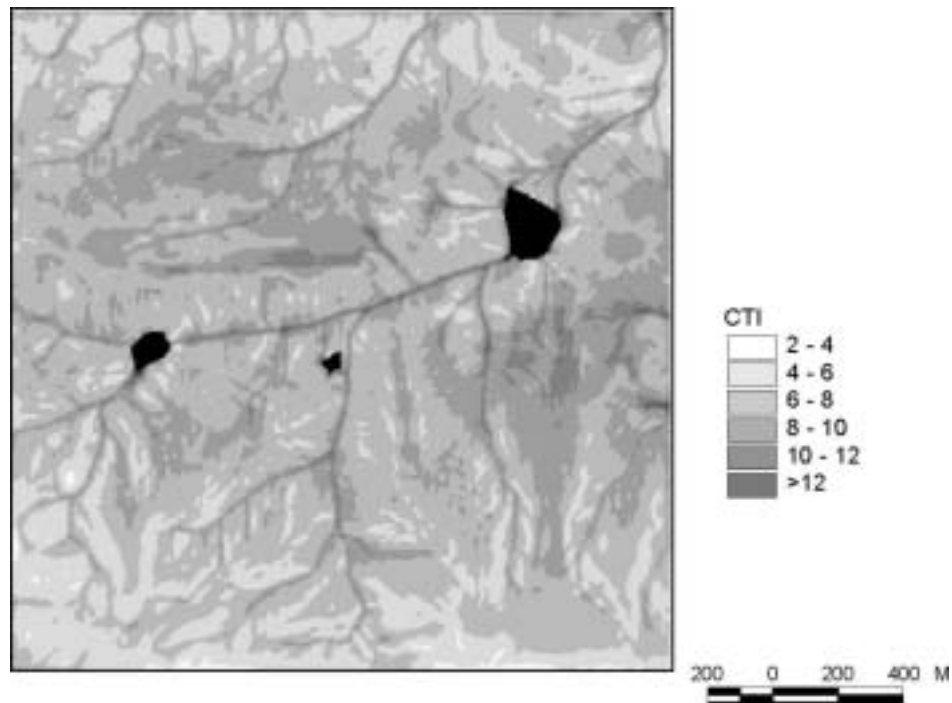


Рис. 2. Складений топографічний індекс для ділянки в околицях Львова (с. Лисничі).

шених у південній частині дослідної ділянки, вкритої умовно- та псевдокорінними деревостанами. Як відомо, різні деревні породи мають різну гігрофільність – різні вимоги до вмісту ґрунтової вологи, стійкість до погіршених умов аерації та оглеєння ґрунту. В межах зазначеної ділянки яскраво виражена мікрозональність у складі умовно- та псевдокорінних деревостанів. Наприклад, у підвищених та добре дренажованих місцезональних домінують чисті бучини, які в нижніх частинах схилів змінені змішаними буково-грабовими та буково-грабово-вільховими деревостанами з різними частками порід у структурі деревостану. Найбільше перезволожені ділянки біля підніжжя схилів, у днищах долин і балок, вкритих вільшаниками з домішкою граба. Отже, зменшення у структурі деревостану частки бука та збільшення частки вільхи

свідчить про погіршення дренажності та умов аерації. Це підтвердив і аналіз ґрунтових прикопок: у місцях під вільшаниками простежено виразні ознаки поверхневого оглеєння. Водночас такі умови характерні, насамперед, для перезволожених місць, де високі значення СТІ. На рис. 3 відображено розподіл часток бука та вільхи у формулі деревостану залежно від значень індексу СТІ. Незважаючи на те, що функціональної залежності нема, можна помітити помітну тенденцію до зменшення частки бука та збільшення частки вільхи зі збільшенням значення цього індексу.

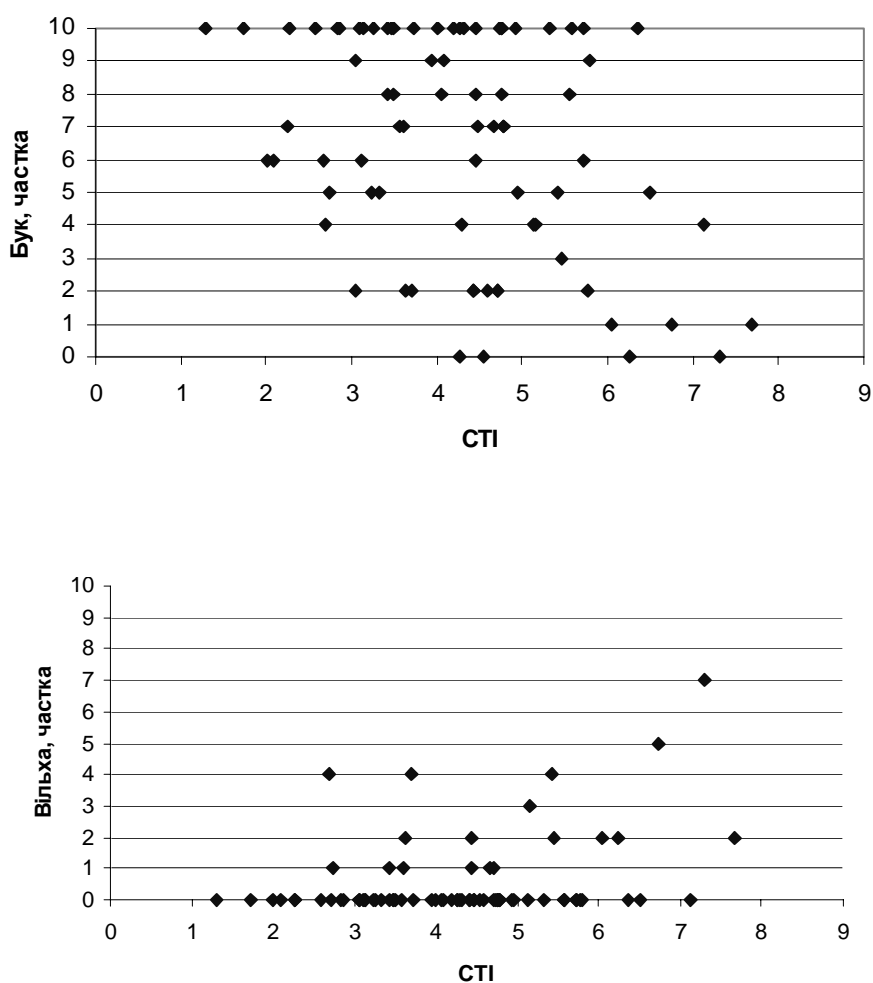


Рис. 3. Зв'язок між показниками структури деревостану та значеннями індексу СТІ в 77 пунктах у межах дослідної ділянки.

Крім індексу СТІ, розроблено й інші топографічні індекси, які характеризують різні аспекти впливу рельєфу на ландшафтні процеси, зокрема, індекс потужності руслових та схилових потоків $SPI = Ac * \tan^{\beta}$, де Ac – площа, з якої надходить стік на одиницю замикального контуру, β – ухил поверхні; складений індекс розсіювання $CDI = \ln(Ad * \tan^{\beta})$, де Ad – площа, на яку надходить стік з одиниці замикального контуру [6] (цю площу обчислюють з застосуванням алгоритму обчислення Ac до „негативного” відображення ЦМР). Окремо треба згадати показник ерозійного потенціалу рельєфу, який в емпіричній ерозійній моделі RUSLE обчислюють за формулою

$$LS(r) = (m+1) [A(r) / a0]^m [\sin b(r) / b0]^n,$$

де A – площа, з якої надходить стік на одиницю довжини замикального контуру; b – ухил поверхні; m та n – відповідні параметри; $a0 = 22,1$ м – довжина і $b0 = 0.09 = \sin(5.16^\circ)$ – ухил поверхні стандартних дослідних ділянок, на яких визначали параметри моделі USLE [11].

Використання топографічних показників для моделювання зв'язків між положенням у рельєфі та різноманітними ландшафтними характеристиками є перспективним напрямом досліджень, який ґрунтується на континуальній концептуальній моделі. Ці кількісні показники, на відміну від переважно якісних, якими характеризують об'єкти у дискретній моделі, дає змогу широко використовувати методи математично-статистичного аналізу, а також піднести ландшафтно-екологічні дослідження, традиційно якісні та описові, на вищий кількісний рівень.

1. Міллер Г. П., Петін В. М., Мельник А. В. Ландшафтознавство: теорія і практика. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2002. – 172 с.
2. Модели полей в географии. Теория и опыт картографирования / Червяков В. А., Черванев И. Г., Кренке А. Н. и др. – Новосибирск: Наука, 1989. – 145 с.
3. Харвей Д. Научное объяснение в географии. – М.: Прогресс, 1974. – 500 с.
4. Christian C.S., Stewart G.A., Perry R.A. Land research in Northern Australia // Australian Geographer. – 1960. – Vol. 7(6). – P. 217–231.
5. Christian C.S., Stewart G.A., Perry R.A. Land research in Northern Australia // Australian Geographer. – 1960. – Iss.7(6). – P. 217–231.
6. Conacher A.J., Dalrymple J.B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research // Geoderma. – 1977. – № 18. – P. 1–153.
7. CSIRO. Quantitative Terrain Analysis for Soil Property Prediction. <http://www.ffp.csiro.au/nfm/mdp/qtaatt.htm#12>. – 1997.
8. Edelman C. H. Soils of The Netherlands. – Amsterdam: NV Noordh.Uitg. My, 1950. – 178 p.
9. Gessler P. E., Chadwick O. A., Chamran F., Althouse L., Holmes K. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes // Soil Science Society of America Journal. – 2000. – Iss. 64. – P. 2046–2056.
10. Heuvelink G. B. M. Error Propagation in Environment Modelling with GIS. – Taylor & Fancis, 1998. – 127 p.
11. Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson R. L. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS // Int. Journal of Geographical Information Science. – 1996. – Vol. 10(5). – P. 629–641.
12. 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.
13. Webster R., Beckett P. H. T. Terrain classification and evaluation using air photography: a review of recent work at Oxford // Photogrammetria. – 1970. – №26. – P. 51–75.

**MODELING OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS DISTRIBUTION BY
MEANS OF TOPOGRAPHIC INDICES****O. Mkrtchian***Ivan Franko National University of Lviv,
Doroshenko Str., 4, UA – 79 000 Lviv, Ukraine*

The paper considers the modeling of the relations between land surface relief and ecological characteristics using topographic indices calculated from DEM. The comparative characteristic of the application of discrete and continual conceptual models in geomorphological and landscape-ecological studies is given. The formulas for some of the useful topographic indices are given and the applications of the CTI index in the landscape-ecological analysis are illustrated.

Key words: topographic indices, landscape-ecological analysis, digital elevation model.

Стаття надійшла до редколегії 10.06.2005

Прийнята до друку 22.06.2005