І. Ковальчук, О. Мкртчян. Автоматизована екологічна класифікація елементів рельєфу та її застосування для вивчення річково-долинних ландшафтів // Вісн. Львівс. ун-ту. Серія геогр. –2008. – Вип. 35. -С.159-164.

УДК 910.26:911.52

АВТОМАТИЗОВАНА ЕКОЛОГІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЬЄФУ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ РІЧКОВО-ДОЛИННИХ ЛАНДШАФТІВ

І. Ковальчук, О. Мкртчян

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна

За екологічною класифікацією рельєфу земну поверхню поділяють на елементи, гомогенні за екологічними властивостями. Така класифікація повинна ґрунтуватися на параметрах, які характеризують різноманітні екологічні процеси.

Розглянуто методику автоматичної екологічної класифікації рельєфу, яка ґрунтується на трьох параметрах, що характеризують, відповідно, надходження сонячної радіації, перерозподіл вологи та ґрунтову ерозію. У цій методиці використано алгоритм ISODATA для відокремлення природних кластерів у багатовимірному просторі зазначених параметрів. Отримані просторові класи мають достовірний статистичний зв'язок з характеристиками розподілу рослин.

Ключові слова: класифікація рельєфу, цифрові моделі рельєфу, топографічні індекси.

Екологічна геоморфологія є сучасним науковим напрямом, що формується на стику геоморфології й екології, який, зокрема, розглядає рельєф як непрямий екологічний чинник, що опосередковано впливає на життєдіяльність організмів, хід екологічних процесів, формування геоекологічної ситуації [1, 2]. Оскільки у структурі сучасного рельєфу Землі чільне місце займають флювіальні форми, які активно освоює і використовує людина, то їхньому вивченню необхідно приділити багато уваги. Одним з важливих напрямів вивчення флювіального рельєфу є класифікація його елементів.

У геоморфології використовують різні принципи та критерії виділення і класифікації форм та елементів рельєфу, які можна звести до двох домінантних підходів – генетичного і морфологічного. Екологічна геоморфологія, на нашу думку, повинна використовувати власний, еколого-геоморфологічний, підхід до класифікації та картування морфологічних елементів рельєфу.

В праці [5] обґрунтовано використання екологічної однорідності як базового принципу виділення територіальних одиниць оцінювання та картування природних умов. Екологічна однорідність визначена як однорідність умов середовища щодо живих організмів (зокрема, культурних рослин) та стосовно вимог головних способів землекористування. Це визначення можна дещо розширити, увівши до нього й однорідність передумов та чинників прояву різноманітних процесів, які впливають на формування екологічної ситуації – небезпечних морфодинамічних та гідрологічних

процесів (ерозія, зсуви, осідання, селі, підтоплення тощо), а також процесів, які забезпечують перенесення і концентрацію забруднень у повітряному, водному і ґрунтовому середовищах.

Як базові просторові одиниці картування природних умов ми [5] запропонували використовувати морфотопи, які визначено як "виділені за ознаками морфології земної поверхні та достатньою мірою екологічно однорідні територіальні одиниці, які, виходячи з характеристик території, цілей дослідження, наявних даних та можливостей їх збору й обробки, недоцільно поділяти за геоморфогенно зумовленими внутрішніми відмінностями у природних умовах на дрібніші територіальні складові". У цій же статті окреслено головні принципи та критерії виділення морфотопів.

За сучасних умов головним способом відображення детальної морфометричної інформації про рельєф є цифрові моделі рельєфу (ЦМР), а головним інструментом морфометричного аналізу – перетворення та аналіз ЦМР у середовищі геоінформаційної системи (ГІС). ЦМР є регулярною матрицею перевищень, яку шляхом застосування простих математичних операторів можна перетворити на матрицю значень похилів поверхні, вертикального та горизонтального розчленування, інших морфометричних показників. Алгоритми, інтегровані в сучасні ГІС-пакети, дають змогу також обчислити за ЦМР низку гідрологічних параметрів (довжини ліній стоку, дренажну площу), а засоби картографічної алгебри – довільно перетворювати та комбінувати ЦМР за певними правилами. Зокрема, застосування відповідних алгоритмів допомагає обчислювати важливі екологічні параметри, пов’язані з морфологією земної поверхні. Наприклад, похідні від ЦМР топографічні параметри ефективно використовують для моделювання екологічних умов місцезростань на нижчому просторовому рівні [7]. Ці параметри також можна використати як критерії екологічної класифікації рельєфу, визначення його ерозійного потенціалу, оцінювання придатності для господарського використання тощо.

Основою екологічної класифікації рельєфу в нас була детальна ЦМР ділянки басейнового ландшафту в околицях м. Львова, яка охоплює вододіл та верхні частини схилів двох невеликих долин басейну р. Полтви. Горизонтальна детальність (розмір піксела) ЦМР, створеної шляхом інтерполяції гіпсометричних шарів топокарти в середовищі програмного пакета Arc/Info, становить 5 м. До головних екологічних процесів, які безпосередньо регульовані морфологією земної поверхні, належать перерозподіл сонячної радіації, перерозподіл вологи на схилах та перерозподіл твердого матеріалу під дією сили гравітації. Ці процеси можна відобразити відповідними параметрами (показниками), розрахованими за ЦМР.

Для обчислення параметра, який характеризує перерозподіл сонячної радіації, використовували алгоритм, розроблений Л. Кумаром з колегами [8] та реалізований у формі макропрограми shortwave.aml середовища Arc/Info. Цей алгоритм дає змогу розрахувати інтегральне значення надходження короткохвильової сонячної радіації за довільний період з урахуванням ефектів затінення та атмосферного поглинання радіації в разі низької висоти сонця над горизонтом, проте без урахування поглинання хмарністю та довгохвильової радіації [8]. За цією програмою ми розрахували надходження сонячної радіації за найважливіший екологічно період з 1 березня по 31 жовтня.

З’ясовано, що надходження прямої сонячної радіації на круті схили північної експозиції більш ніж удвічі менше, аніж на схили південних експозицій, що впливає не екологічні умови місцезростань прямо, та опосередковано (через зміни мікроклімату)

(рис. 1). Наприклад, зв'язок між надходженням радіації та рясністю світлолюбного виду анемона дібровна (Anemone nemorosa L.) виявився статистично достовірним (критерій t = 3,45 при 34 ступенях вільності) [10].

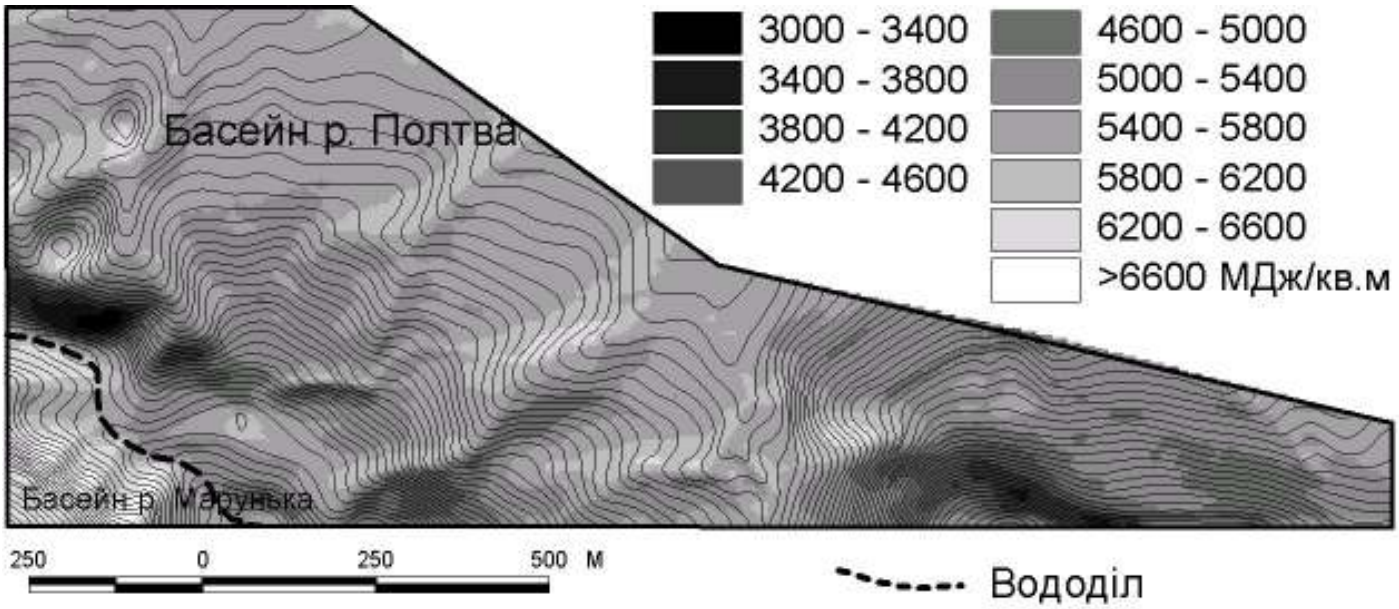

Рис. 1. Максимальне надходження прямої сонячної радіації на елементи рельєфу досліджуваної частини басейну з різним похилом та експозицією за період 1 березня – 31 жовтня, Мдж/м^2.

Для відображення перерозподілу вологи за елементами рельєфу під дією гравітації доцільно використати складений топографічний індекс (топографічний індекс вологості CTI), запропонований І. Муром та П. Гесслером. Цей індекс відображає положення у ландшафтній катені, його обчислюють за формулою

$$CTI = \ln(A_s / \tan \beta),$$

де As – дренажна площа (площа водозбору, розрахована на одиницю довжини замикального контуру); ß – похил поверхні [11]. Цей індекс відображає розташування пункту в ландшафтній катені; великі його значення відповідають переважній акумуляції вологи, підвищеному вмісту її в ґрунті, що, відповідно, впливає на інші ґрунтові характеристики, мікроклімат, водний баланс, екологічні умови місцезростань.

Топографічний індекс вологості має найменші значення на вершинних поверхнях та верхніх частинах крутих схилів і найбільші – на нижніх увігнутих частинах схилів та у днищах долин (рис. 2). Зарубіжні дослідники вводять цей індекс до числа показників, які використовують для прогнозування характеристик ґрунтів. Зокрема, П. Гесслер із колегами розробили статистичну ґрунтово-ландшафтну модель для прогнозування низки ґрунтових характеристик, застосувавши такі морфометричні показники, як планова кривизна, складений топографічний індекс, та дренажна площа [6]. Ця модель пояснює 65% просторової варіації ґрунтових характеристик. Індекс CTI сам по собі пояснив 71% варіації потужності ґрунтового горизонту А, 84% варіації потужності ґрунтового профілю і 78% варіації вмісту ґрунтового вуглецю [6].

Головним процесом, відповідальним за перерозподіл твердого матеріалу за цих умов, є водна ерозія. Для визначення ерозійного потенціалу рельєфу використано вираз із модифікованого Універсального рівняння втрат ґрунту (RUSLE) [9]:

$$LS = (m+1)\ [A_s / a_0]^m\ [\sin\beta / b_0]^n,$$

де A_s – дренажна площа; β – похил поверхні; m, n – стандартні параметри, a_0 = 22,1м – довжина і b_0 = 0,09 = sin (5,16˚) – похил поверхні стандартних ділянок, на яких визначали параметри моделі (рис. 3). Для визначення реальних обсягів змиву величину LS треба помножити на значення змінних, які характеризують інші чинники ерозії (опади, ґрунти, рослинність тощо).

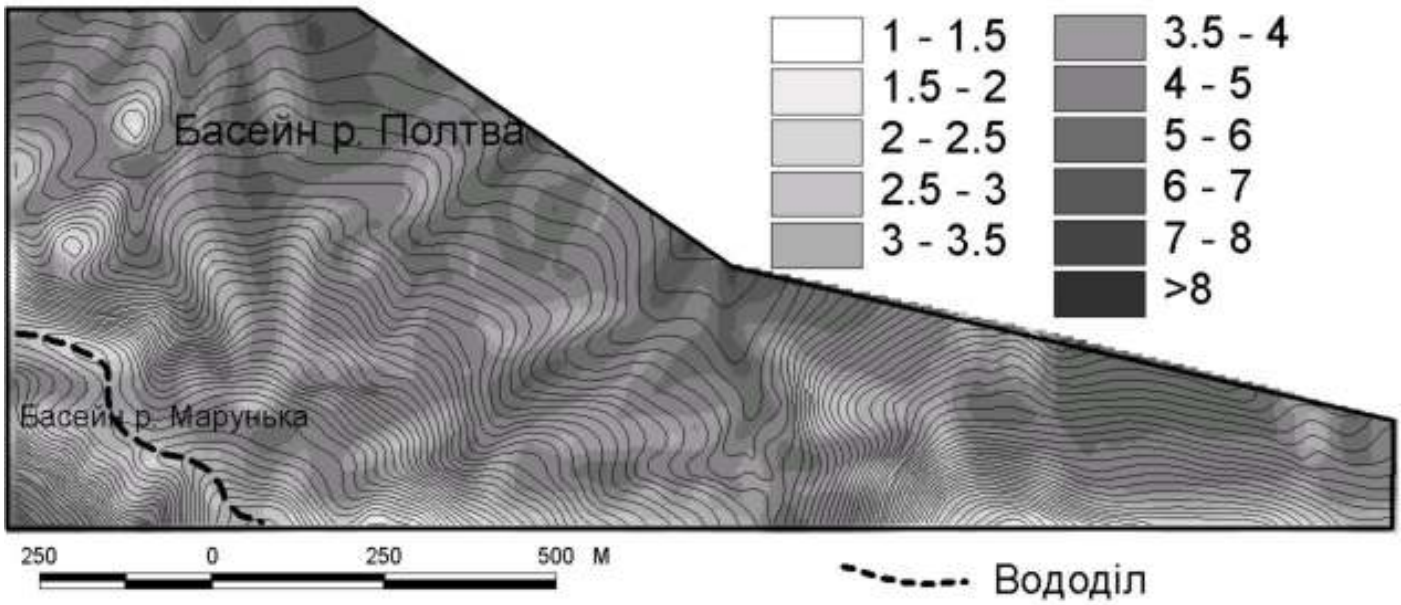

Рис. 2. Розподіл топографічного індексу вологості.

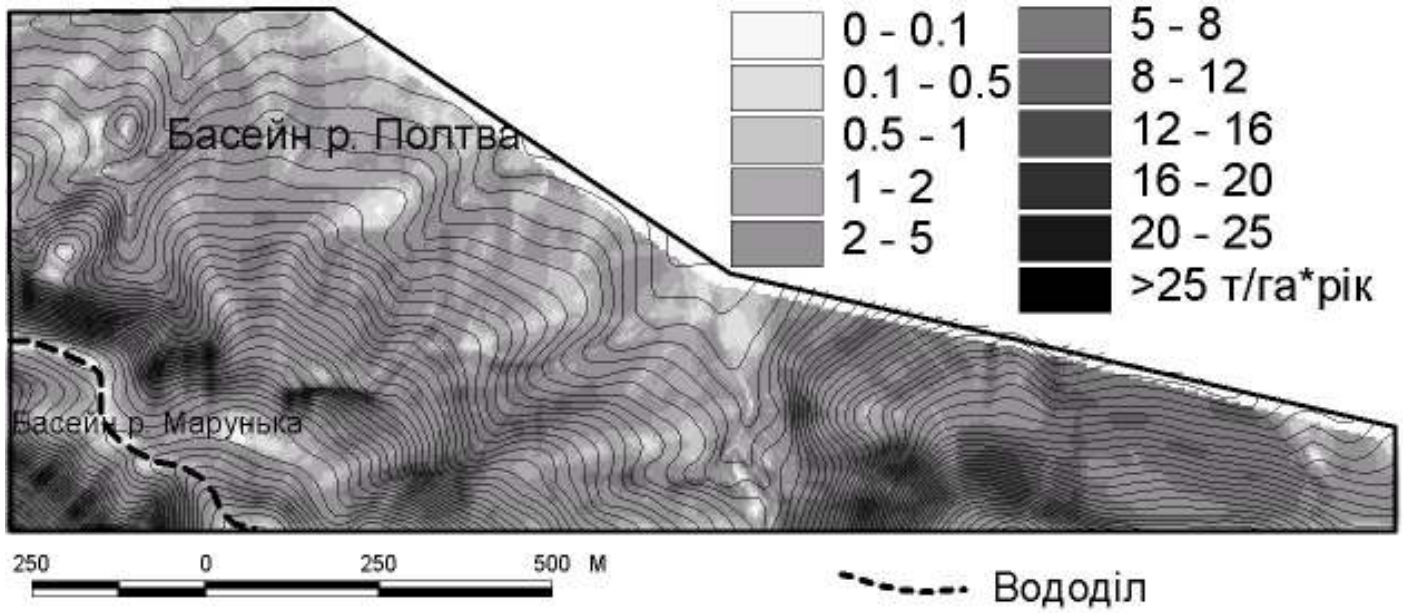

Рис. 3. Розподіл ерозійного потенціалу рельєфу, т/га·рік.

Для екологічної класифікації елементів рельєфу та виділення відповідних територіальних одиниць (морфотопів) використано методику ітераційного кластерного аналізу, яка виділяє класи на підставі аналізу природних поєднань даних (кластерів) у просторі атрибутів. Класифікацію даних виконано шляхом послідовного застосування функцій ISOCLUSTER та MLCLASSIFY програмного пакета Arc/Info. Алгоритм, який використано у першій з цих функцій, ґрунтується на методиці мігруючих середніх, суть якої полягає у віднесенні кожного елемента (місцеположення, піксела) до класу з найближчим до нього положенням центроїда в багатовимірному просторі атрибутів

(показників, які використовують у класифікації) з наступним перерахунком положення центроїдів усіх класів. У підсумку отримано растровий шар, кожний піксел якого віднесений до одного з п'яти класів, що відповідають виділеним морфотопам (рис. 4). Надалі отриманий растровий шар піддано автоматичному згладжуванню та векторизації для перетворення у векторний шар, у якому кожний виділ отриманих морфотопів відображений полігоном з окремим записом у таблиці атрибутів.

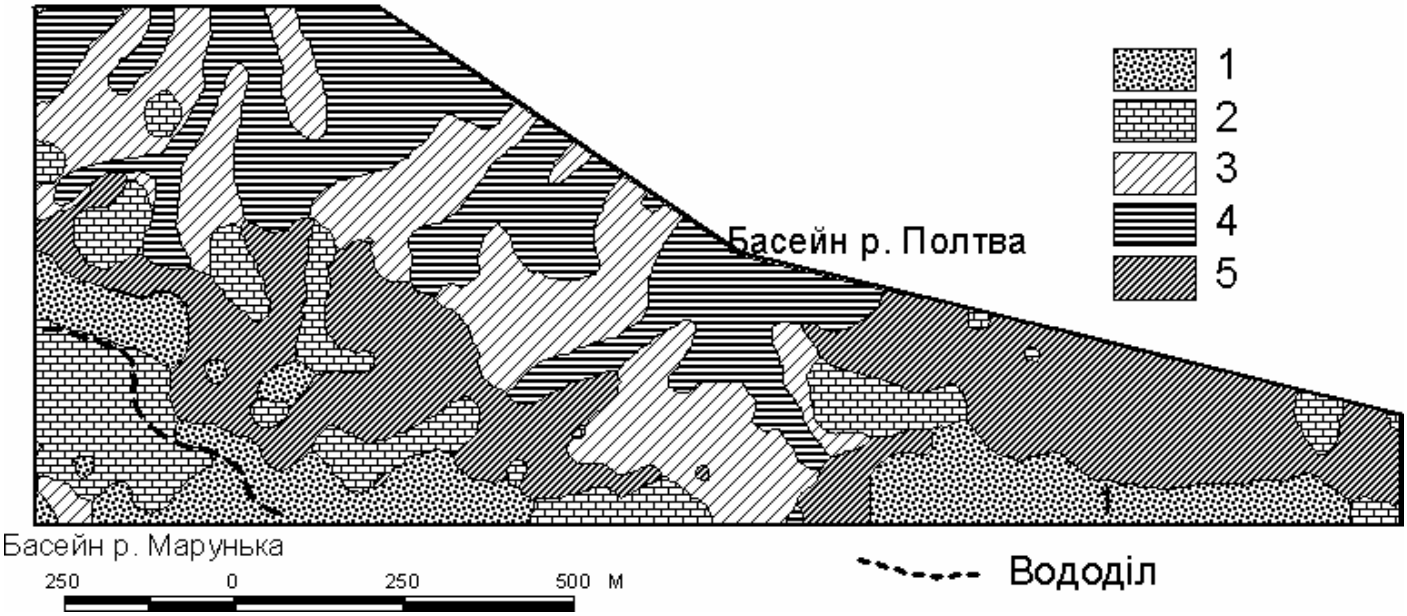

Рис. 4. Морфотопи, виділені шляхом автоматизованої класифікації ЦМР.

Із п'яти виділених таким способом морфотопів перший відповідає вузьким гребеням та крутим гравітаційним схилам; другий – виположеним вершинним поверхням, структурним ступеням на схилах та останцевим горбам; третій – випуклим пологим нижнім ділянкам схилів; четвертий – днищам балок та увігнутим нижнім ділянкам пологих схилів; п'ятий – верхнім спадистим частинам схилів. Детальніша ландшафтна характеристика виділених морфотопів наведена в [4].

Для визначення екологічної значимості класифікації отримані морфотопи зіставлено з характеристиками рослинності. Зокрема, за спостереженнями на 46 облікових ділянках визначали зв'язок між морфотопами та рясністю анемони дібровної (Anemone nemorosa L.), яка перебуває у циклі вегетації навесні, а її розподіл слабко залежить від проективного покриття деревного ярусу. Рясність рослини визначали за шкалою Воронова, яка охоплює чотири класи проективного покриття [2]. В ході аналізу виявлено достовірний статистичний зв'язок значень рясності анемони та виділених морфотопів. Дисперсійний аналіз засвідчив високу надійність зв'язку (значення критерію F становить 4,175 при 4 ступенях вільності, що відповідає рівню достовірності зв'язку 0,9937). Найменше проективне покриття має морфотоп 1, найбільше – морфотопи 3 і 2, решта морфотопів – проміжні. Морфотопи також зіставлено з характеристиками природного деревостану на 78 облікових ділянках у межах досліджуваної частини басейну. Зокрема, зіставлення морфотопів з формулою деревостану дало змогу виявити, що частка буку є найменшою в морфотопі 4 (бук уникає перезволожених місцеположень, де його місце у деревостані займає вільха). Навпаки, найбільша частка бука характерна для морфотопів 1 та 5, які відповідають добре дренованим крутим схилам. Морфотоп 3 має суттєво більшу частку граба та вільхи порівняно з морфотопом 2.

Отже, екологічна класифікація елементів рельєфу басейнової системи повинна ґрунтуватись на чітко визначених параметрах, які мають екологічне значення. Ці параметри можуть бути чинниками або ознаками окремих екологічних процесів, таких як вегетація рослин, конкурентні взаємодії між організмами тощо. Якщо розуміти екологію широко, то до екологічних також можна зачислити морфодинамічні та інші процеси, які зазнають антропогенних модифікацій, впливають на людину та її господарську діяльність – ерозію, зсуви, селі, підтоплення, водне та повітряне перенесення забруднень тощо. Поширення більшості цих процесів або безпосередньо визначене морфологією рельєфу, або зазнає її помітного впливу. Одиниці екологічної класифікації рельєфу – морфотопи – відповідають елементарним ареалам, у межах яких напрям та інтенсивність цих процесів порівняно сталі.

1. *Адаменко О. М., Рудько Г. І., Ковальчук І. П.* Екологічна геоморфологія. Підручник. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 411 с.

2. *Ковальчук І. П.* Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. – Львів: Ін-т українознавства, 1997. – 440 с. з іл.

3. *Миркин Б. М., Розенберг Г. С.* Фитоценология: принципы и методы. – М.: Наука, 1978. – 211 с.

4. *Мкртчян А. С.* Автоматизированное выделение ландшафтных единиц путем классификации рельефа с применением ГИС // Ландшафтное планирование: общие основания, методология, технология: Тр. Междунар. школы-конф. "Ландшафтное планирование". – М., – 2006. – С. 203-208.

5. *Мкртчян О.* Морфотопи як територіальні одиниці картування та оцінки природних умов // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. геогр. – 2004. – № 3. –С. 181 – 187.

6. *Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J.* Soil landscape modelling and spatial prediction of soil attributes // Int. J. Geogr. Inf. Syst. – 1995. – Vol. 9. –P. 421 – 432.

7. *Guisan A., Zimmermann N.* Predictive habitat distribution models in ecology // Ecological Modelling. –2000. –№ 135. –P. 147 – 186.

8. *Kumar L., Skidmore A.K., Knowles E.* Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment // Int. J. for Geogr. Information Science. – 1997. – Vol. 11(5). – P. 475 – 497.

9. *Mitasova H. J., Hofierka M., Zlocha R., Iverson L.* Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS // Int. J. of Geogr. Information Science. – 1996.– Vol. 10(5). – P. 629 – 641.

10. *Mkrtchyan A.* Spatial interpolation of field data on plant abundance // Commarmot B., Hamor F. D. (eds.) Natural Forests in the Temperate Zone of Europe – Values and Utilisation. Proceedings of international conference 13-17 October 2003. – Birmensdorf, Swiss: Federal Research Institute WSL; Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve, 2003. – P. 314 – 321.

11. *Moore I.D., Gessler P. E., Nielsen G. A., Peterson G. A.* Soil attribute prediction using terrain analysis // J. of Soil Science Society of America. – 1993. – Vol. 57. – P. 443 – 452.

AUTOMATIC ECOLOGICAL RELIEF ELEMENTS CLASSIFICATION

I. Kovalchuk, A. Mkrtchian

Ivan Franko National University of Lviv, Doroshenko Str., 41, UA – 79 000 Lviv, Ukraine

Ecological relief classification partitions land surface into elements with homogeneous ecological properties. Such classification should be based on parameters characterizing various ecological processes.

In the paper the method of automatic ecological relief classification is proposed based on three parameters characterizing, respectively, solar radiation influx, water redistribution, and soil erosion. The method uses ISODATA algorithm to distinguish natural clusters in multidimensional space of the mentioned parameters. The derived areal classes show reliable statistical relations with plant distribution characteristics.

Key words: relief classification, digital elevation models, topographic indexes.