морфометрических параметров методом к-средних. Проанализирован результат применения данной методики для территории в пределах Украинских Карпат, очерчены пути усовершенствования данной методики.

Ключевые слова: экологический градиент, морфометрические параметры, Украинские Карпаты, цифровая модель рельефа.

Надійшла до редколегії 13.05.2013

УДК 911.52:[910.2+004.9]

Свідзінська Д. В.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПЕРСПЕКТИВИ СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ В ЛАНДШАФТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Ключові слова: структурно-морфометричний аналіз, геоінформаційний аналіз, ЦМВ, SRTM

Постановка проблеми. Ключова роль в розробці структурно-морфометричного аналізу, як складової загальної геоморфометрії, належить В.П. Філософову (1960, 1975). Підхід швидко набув популярності завдяки чіткому теоретико-методологічному обґрунтуванню, простоті аналітичних прийомів (картометрія), доступності вихідних матеріалів (гіпсометричні карти), продукуванню значної кількості похідних даних. Основними сферами прикладного застосування методу стали геологічні та геоморфологічні дослідження. Методична лаконічність та універсальна інформативність структурної морфометрії дозволяють зробити припущення про потенціал для її застосування в тих напрямках природничо-географічних досліджень, які в тому чи іншому вигляді аналізують рельєф. Відповідно, структурно-морфометричний аналіз може бути продуктивним і в ландшафтних дослідженнях, де рельєф розглядається як важливий чинник диференціації та функціонування ландшафтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Принципи та методи структурної морфометрії детально викладені в роботах [6,7]. Сама методика з тих часів залишилась незмінною, хоча на сучасному етапі характеризується активним застосуванням геоінформаційного аналізу цифрових моделей висот (далі – ЦМВ) [1, 9-11]. Традиційні геолого-геоморфологічні інтерпретації результатів пов’язані з виявленням та аналізом морфотектонічних структур [6-8, 10], ідентифікацією лініаментів [8-10], встановленням співвідношень між етапами еволюції та формами рельєфу [4, 5, 11].

Мета та завдання дослідження. В даній роботі ми зосередимось на перенесенні аналітичних підходів структурної морфометрії в площину ландшафтознавства, як в методичному, так і в інтерпретаційному контексті. В процесі дослідження будуть вирішуватись наступні завдання:

1) адаптування оригінальної методики Філософова (1960, 1975) для реалізації засобами геоінформаційного аналізу ЦМВ; 2) узагальнення результатів аналізу у вигляді серії середньомасштабних карт (базисної та вершинної поверхонь, залишкового рельєфу тощо); 3) визначення перспективних напрямків ландшафтознавчої інтерпретації результатів аналізу.

Матеріали та програмне забезпечення. Дослідження в першу чергу орієнтувалось на виявлення загальних регіональних закономірностей, які могли б бути інформативними для потреб середньомасштабного (1:300 000-1:500 000) ландшафтного картографування. Це передбачало велику площу території дослідження, до якої мала входити не лише Україна, але і прилеглі регіони (більше 1 млн. км^2). Масштаб, територія та завдання дослідження обумовили доцільність використання в якості вихідних матеріалів Відкритого глобального набору геоданих ЦМВ SRTM 4 версії з геометричною РЗ в три кутові секунди (≈90 м) [13]. Для обробки та аналізу даних, підготовки картографічних матеріалів використовувались: утиліта гідрологічної корекції Optimized Pit Removal 1.5.1 [14], ArcGIS 10, Відкриті настільні ГІС QGIS 1.9-dev [15] та SAGA 2.1.0 [3,16].

Підготовка ЦМВ. Оригінальні дані SRTM були приведені до модифікованого варіанту рівнопроміжної конічної проекції (центральний меридіан 31°сх.д., стандартні паралелі 48° та 50° пн.ш.) з роздільною здатністю 200 м, що відповідає масштабу 1:400 000 [12]. Після цього для усунення ефектів флуктуації відбитого сигналу дані були оброблені простим однорідним фільтром (сферична матриця 5×5) з функцією згладжування.

Подальший аналіз передбачав моделювання трансформації поверхневого стоку, тому обов'язковою була гідрологічна корекція даних. Традиційні алгоритми гідрологічної корекції переважно використовують два варіанти – заповнення хибних западин або врізання мережі водотоків в ЦМВ. Перший варіант добре працює на територіях з розчленованим рельєфом, але на пласких ділянках має тенденцію до «перезаповнення», чим унеможливлюють подальше моделювання реалістичної мережі водотоків. Друга група алгоритмів спирається на застосування в процесі обробки або реальної мережі водотоків (яка в заданому масштабі для такої великої території недоступна), або т.зв. «пропилювання» ЦМВ, що також має свої недоліки, за ефектом протилежні до заповнення. Оскільки територія дослідження включала в себе контрастні за характером рельєфу ділянки, принциповим був вибір оптимального алгоритму гідрологічної корекції, який ефективно спрацював би в різних умовах. Найкращі результати було отримано при застосуванні консольної утиліти Optimized Pit Removal, яка втілює комбінований алгоритм гідрологічної корекції, що поєднує заповнення западин з зрізанням піків на основі мінімізації функції зміни абсолютних висот. Це дозволило не лише успішно визначити мережу водотоків для ділянок з пласким рельєфом, але і використовувати модифіковану ЦМВ для подальшого аналізу.

Генерування мережі водотоків та водозбірних басейнів. Виділення елементів басейнової структури відбувалось стандартними засобами гідрологічного аналізу ЦМВ. Спочатку із застосуванням детермінованого восьмивузлового алгоритму односпрямованого стоку D8 було побудовано растр акумуляції стоку. Не дивлячись на те, що даний алгоритм вважається одним з найпростіших, він є швидким, ефективно працює на великих територіях, дає однозначні результаті як при делінеації водотоків, так і при оконтуренні водозбірних басейнів [2]. В якості порогового значення ініціації водотоків було встановлена площа водозбору в 4 км^2, що дозволило отримати гідрологічну мережу співставну за детальністю з масштабом 1:200 000 (рис. 1). Далі для цієї мережі водотоків була побудована мережа водозбірних басейнів.

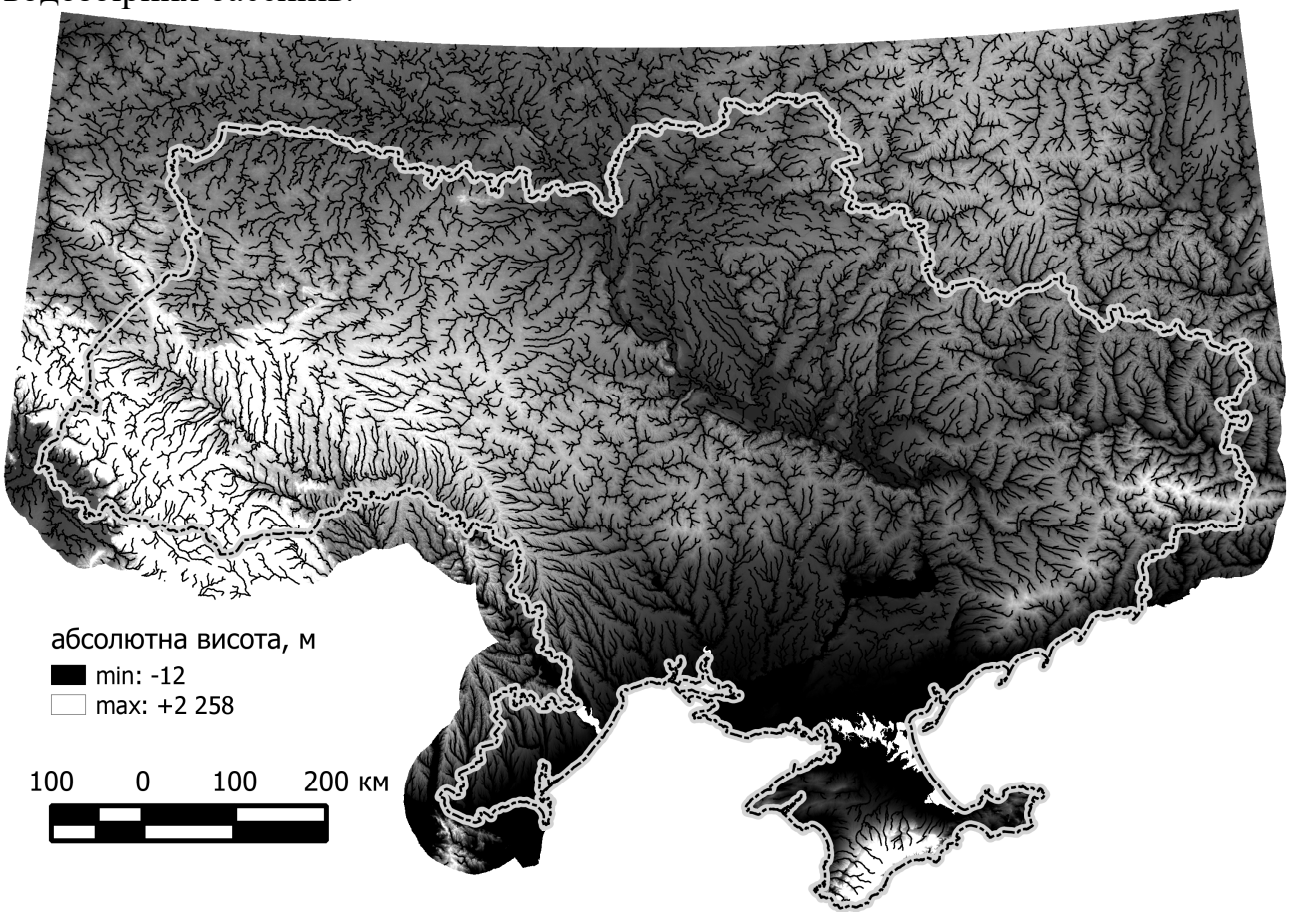

Рис. 1 – **Підготована ЦМВ з генерованою на її основі мережею водотоків.**

Побудова базисних та вершинних поверхонь. Отримання висотних відміток для побудови базисної та вершинної поверхонь ґрунтувалось на оверлейному аналізі растрів водотоків/ вододілів з ЦМВ та їх подальшому переведенні в точкові шейп-файли. У випадку водотоків таким чином було генеровані 529 265, а вододілів – 1 878 535 точкових висотних відміток. Така значна кількість точок уповільнювала процедуру інтерполяції. Крім того, їх лінійне простягання вздовж тальвегів та вододілів формувало небажані для інтерполяції кластери, адже вона потребує рівномірного розподілу точок. Для усунення цих ефектів кожен шар пройшов рандомізацію методом випадкового вибору 10 000 значень.

Зауважимо, що на відміну від оригінальної методики, ми не проводили диференціацію точкових відміток відповідно до порядку водотоків за Штралером. Така диференціація застосовується як правило для виокремлення еволюційних етапів розвитку рельєфу, пов'язаних з тектонічними рухами. З ландшафтознавчої точки зору набагато цікавішим було визначити відносну висоту по відношенню до деякого загального базису ерозії, як чинника диференціації ландшафтів.

Інтерполяцію точкових значень для отримання поверхонь їх розподілу було проведено методом глобального сплайну «тонкої пластини» (thin plate spline). Даний метод інтерполяції будує мінімально викривлену (подібно до тонкої металевої пластини) поверхню, яка при цьому проходить через всі контрольні точки (рис. 2, 3).

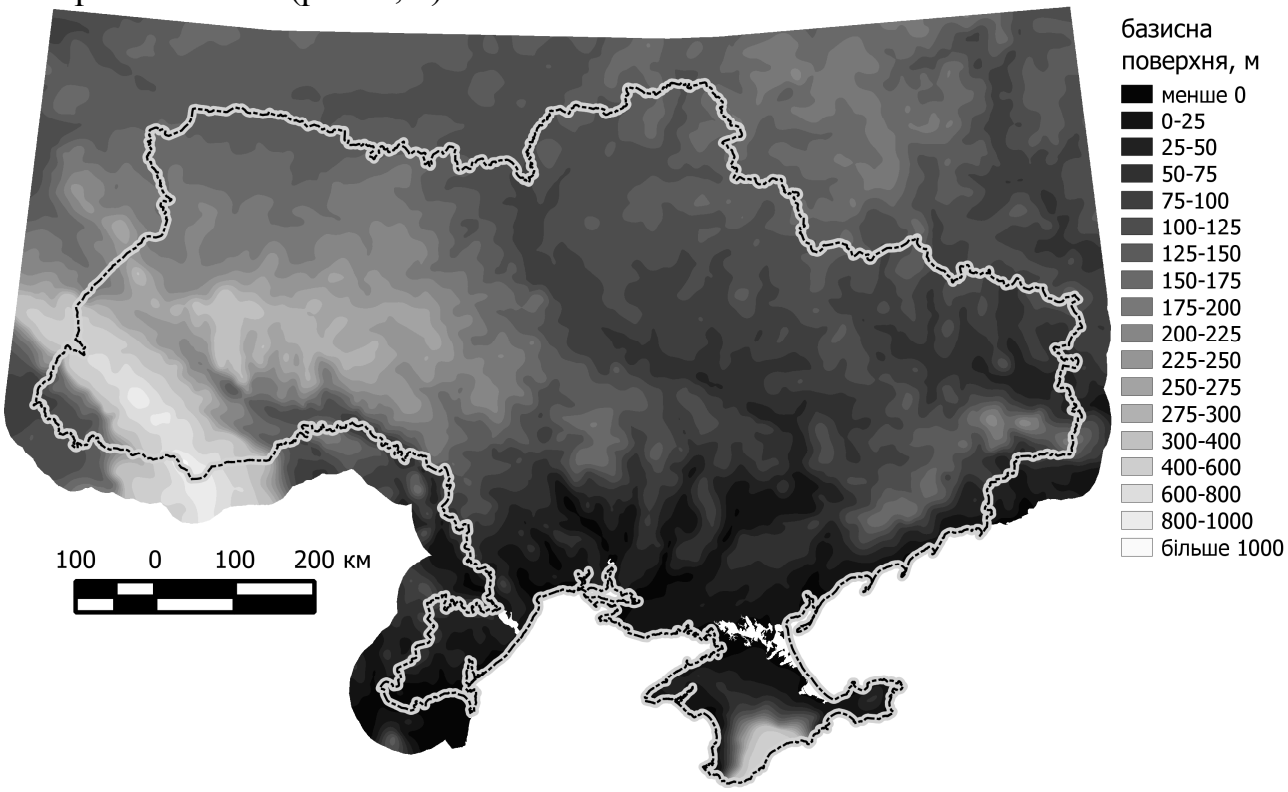

Рис. 2 – **Розподіл значень абсолютної висоти базисної поверхні.**

Побудова похідних аналітичних поверхонь. Подальше аналітичне опрацювання даних зводиться до простих операцій растрової алгебри, де:

- залишковий рельєф = абсолютна висота – базисна поверхня (рис.4);
- знесений матеріал = вершинна поверхня – абсолютна висота (рис. 5);
- глибина розчленування = вершинна поверхня – базисна поверхня (рис. 6).

Перспективи ландшафтознавчої інтерпретації. Принциповим моментом подальшого використання отриманих даних є можливість їх ландшафтознавчої інтерпретації, яка на нашу думку може бути пов'язана з вивченням ярусної диференціації ландшафтів та трансформацією гравітаційної енергії.

Питання ярусності ландшафтів розглядались в роботах О.М. Маринича (1961), Г.Є. Гришанкова (1977), А.Г. Ісаченка (1991), М.Д. Гродзинського (2005) та ін., де гіпсометричні рубежі розглядаються як чинники ярусної

диференціації геокомпонентів та ґрунтово-фітоценотичних процесів. Визначення закономірностей висотної диференціації на основі структурно-морфометричного аналізу може бути покладене в основу визначення хоричних особливостей ландшафтних конфігурацій.

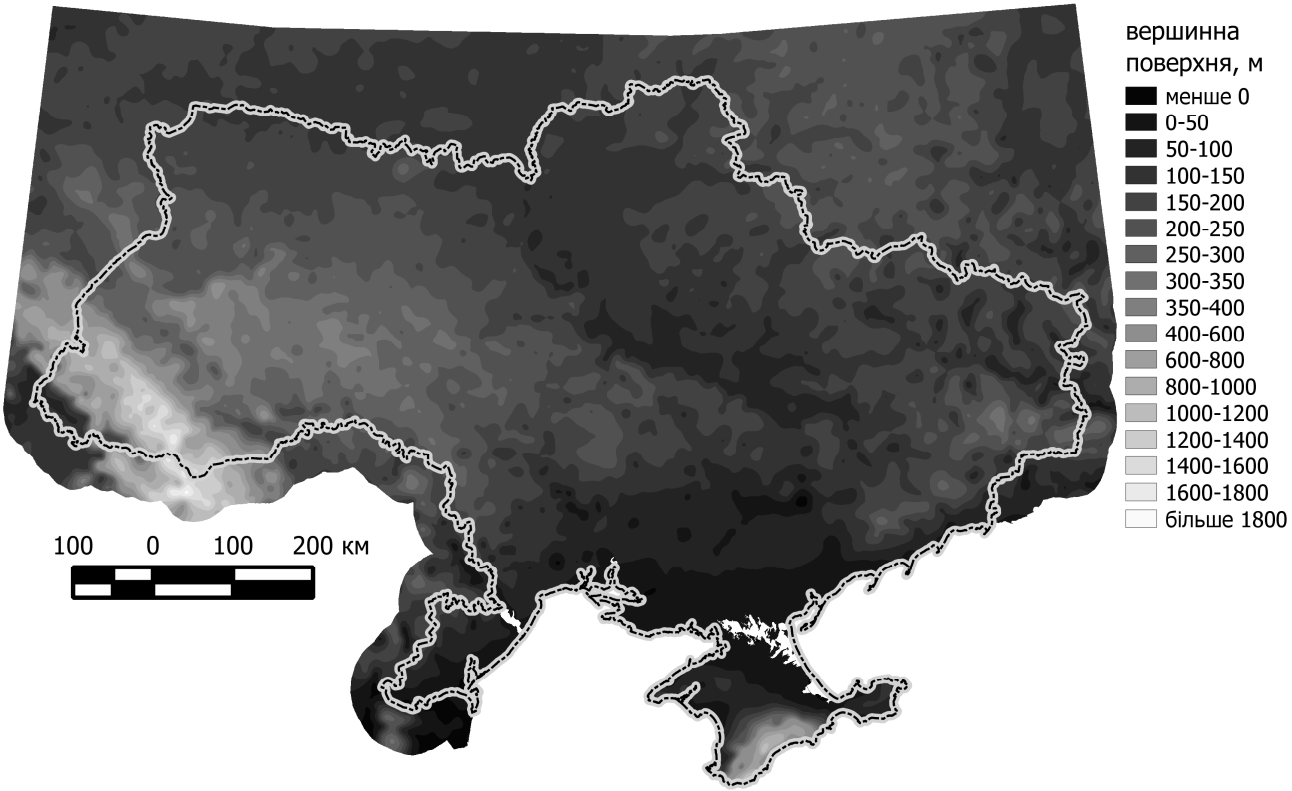

Рис. 3 – **Розподіл значень абсолютної висоти вершинної поверхні.**

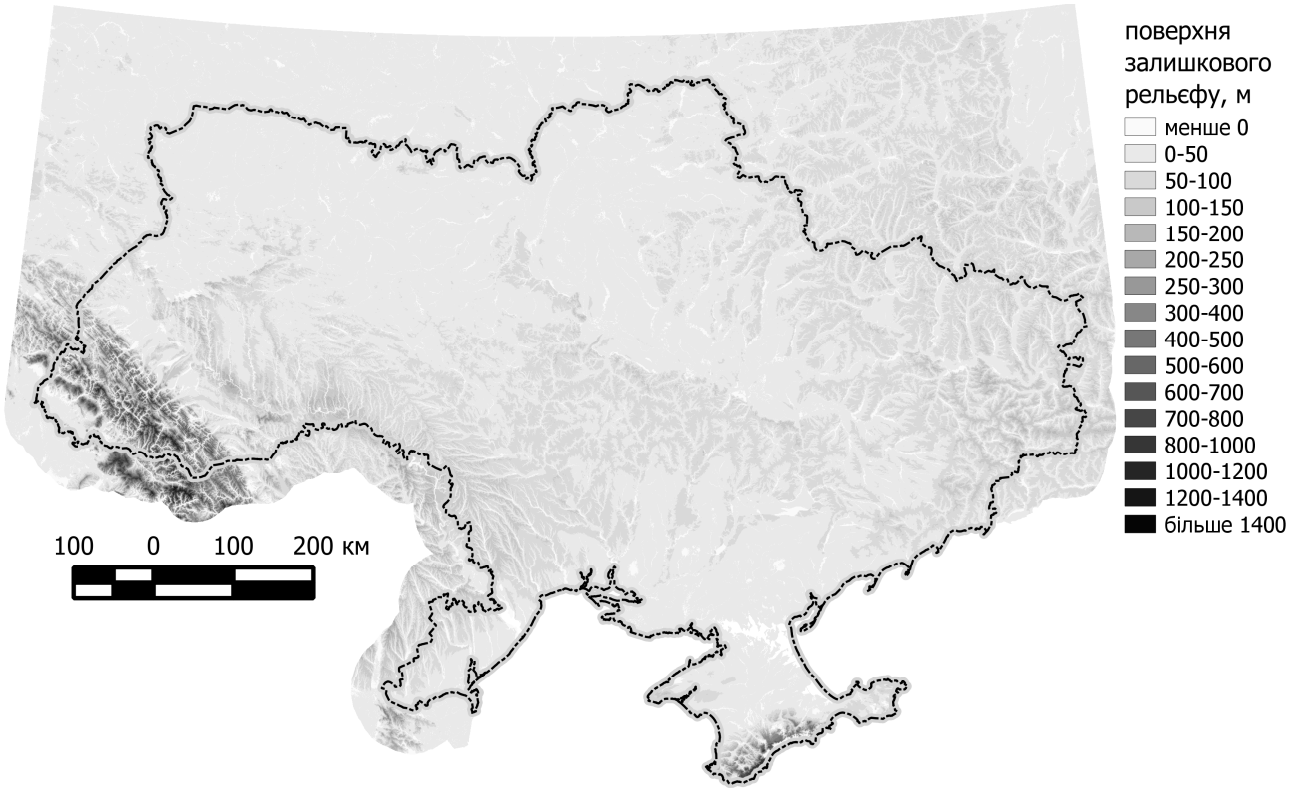

Рис. 4 – **Поверхня залишкового рельєфу.**

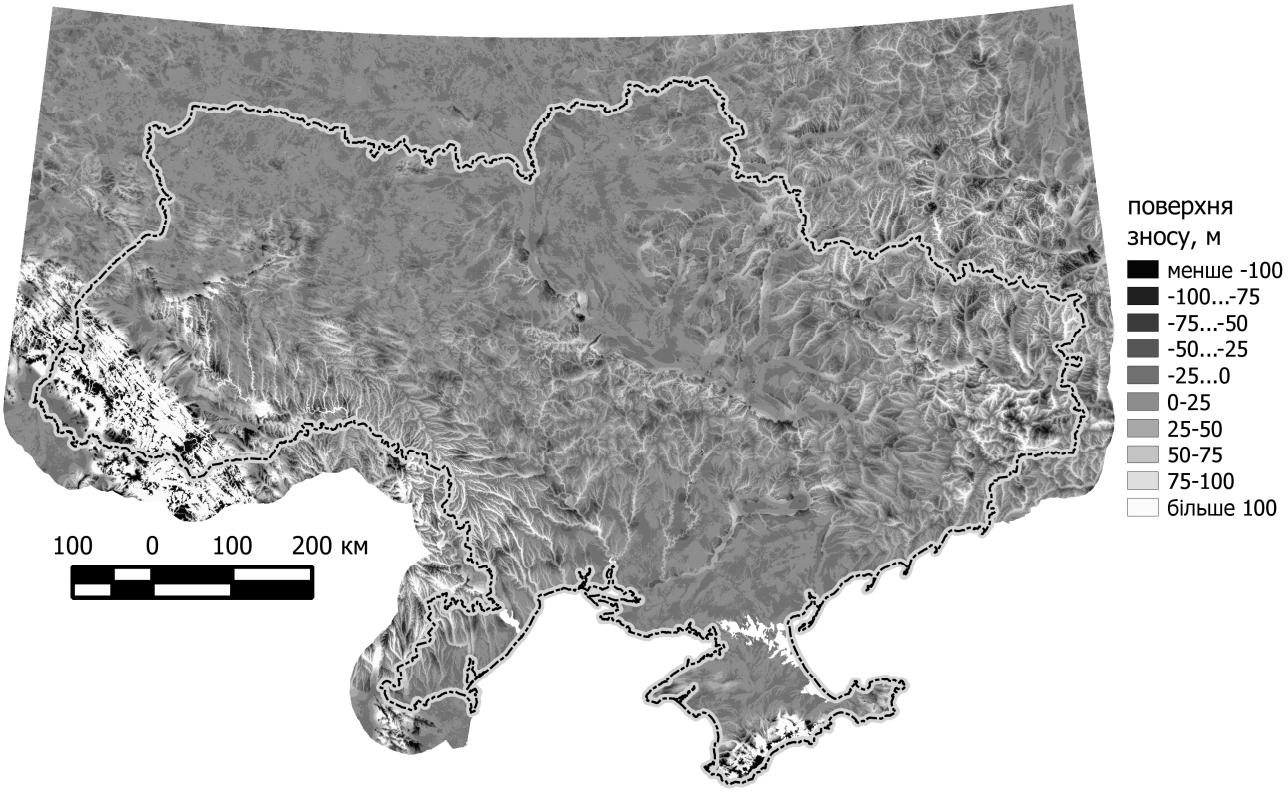

Рис. 5 – **Поверхня зносу.**

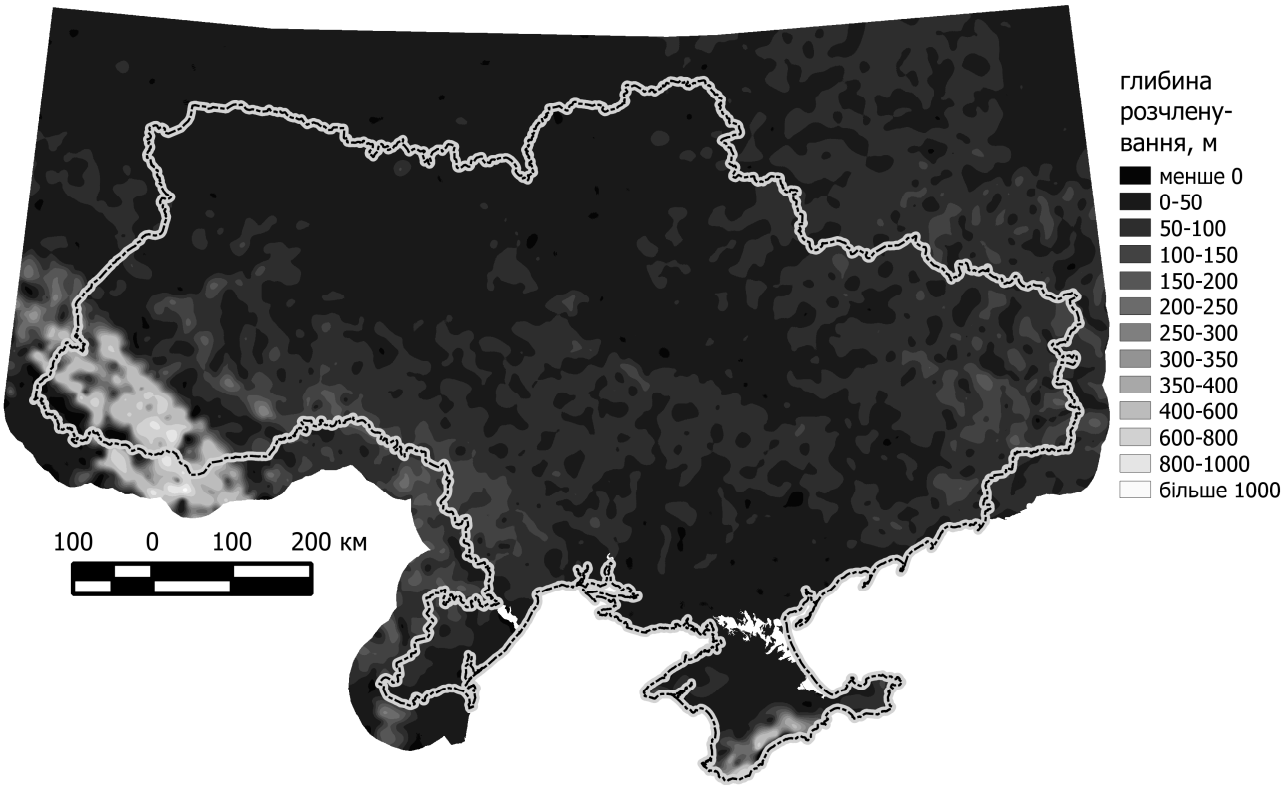

Рис. 6 – **Поверхня глибини розчленування рельєфу.**

Процесно-функціональний напрямок ландшафтної інтерпретації структурної морфометрії пов'язаний з визначенням потенційної енергії геокомплексів, роботи, що відбувається в гравітаційному полі при переміщенні різних типів геомас. Такий аналіз спирається на ландшафтно-геофізичні концепції Н.Л. Беручашвілі (1990) та дозволяє характеризувати цілу низку процесів: випадіння опадів та їх фільтрацію в ґрунт, деякі

процеси біогеоциклу (опад), поверхневий та підземний стік, гравігенні потоки тощо.

Висновки. Внаслідок дослідження автоматизовано метод структурно-морфометричного аналізу. Відкрите ПЗ та геодані надали можливість проведення геопросторового аналізу підвищеної складності на якісному рівні, який виявився не гіршим за комерційні аналоги ПЗ ГІС та геоданих. В результаті створено низку середньомасштабних (1:400 000) картографічних матеріалів, які можуть використовуватись для вивчення хоричних особливостей ярусної диференціації ландшафтів та їх процесно-функціональних інтерпретацій. Перспективи подальших досліджень пов'язуються з практичним втіленням визначених ландшафтознавчих інтерпретацій та їх застосуванням в ландшафтному картографуванні та аналізі.

Список літератури

1. *Іванік О.* Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС/ О. Іванік, Л. Тустановська // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Сер. Геологія. – 2011. – № 53. – С. 4-7; **2.** *Свідзінська Д.В.* Моделювання трансформації поверхневого стоку засобами Відкритих настільних ГІС / Д.В. Свідзінська // Фізична географія та геоморфологія. – 2010. – №4(61). – С.64-72; **3.** *Свидзинская Д.* Открытая настольная ГИС SAGA – общая характеристика / Д. Свидзинская/ GIS-Lab и авторы, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gis-lab.info/qa/saga-intro.html; **4.** *Тустановська Л.* Еволюція рельєфу Канівського Придніпров'я на основі аналізу базисних і вершинних поверхонь / Л. Тустановська // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка: Геологія. – 2011. – № 54. – С.11-15; **5.** *Тустановська Л.* Модель еволюції рельєфоутворення Канівського Придніпров'я на основі структурної морфометрії / Л. Тустановська // там же. – 2012. – № 57. – С.5-8; **6.** *Философов В.П.* Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В.П. Философов ; [под ред. А.А. Корженевского]. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1960. – 96 с.; **7.** *Философов В.П.* Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В.П. Философов ; [под ред. А.В. Вострякова]. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975. – 232 с.; **8.** *Golts S.* A morphotectonic map of northern Aravia in Israel, derived from isobase lines / S. Golts, E. Rosenthal // Geomorphology. – 1993. – Vol.7. – P.305-315; **9.** *Grohmann C.H.* Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R / C.H. Grohmann // Computers & Geosciences. – 2004. – vol.30 (9-10). – p.1055–1067; **10.** *Grohmann C.H.* SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil / C.H. Grohmann, C. Riccomini, F.M. Alves // Computers & Geosciences. – 2007. – vol.33 (1). – p.10-19; **11.** *Grohmann C.H.* Regional scale analysis of landform configuration with base-level (isobase) maps / C.H. Grohmann, C. Riccomini, M.a.C. Chamani // Hydrology and Earth System Sciences. – 2011. – Vol. 15(5). – P. 1493-1504; **12.** *Hengl T.* Finding the right pixel size / T. Hengl // Computers & Geosciences. – 2006. – Vol.32(9). – P.1283-1298; **13.** *Jarvis A., Reuter H., Nelson A., Guevara E.* Hole-filled seamless SRTM data V.4. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://srtm.csi.cgiar.org; **14.** *Optimized Pit Removal Tool* created by Stephen Jackson, Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, 2013. [Ел. ресурс]. – tools.crwr.utexas.edu/OptimizedPitRemoval/CRWR%20Tools%20Optimized%20Pit%20Removal.html; **15.** *QGIS Development Team*, 2013. QGIS Geographic Information System / Open Source Geospatial Foundation Project. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://qgis.osgeo.org; **16.** *SAGA GIS Development Team*, 2013. SAGA – System for Automated

Geoscientific Analyses / SAGA User Group Association. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://saga-gis.org.

Свідзінська Д.В. Перспективи структурно-морфометричного аналізу в ландшафтних дослідженнях. Оригінальну методику структурно-морфометричного аналізу адаптовано для реалізації засобами геоінформаційного аналізу ЦМВ. Результати аналізу узагальнено в серії середньомасштабних карт. Визначено перспективні напрямки їх ландшафтознавчої інтерпретації.

Ключові слова: структурно-морфометричний аналіз, геоінформаційний аналіз, ЦМВ, SRTM

Svidzinska D.V. **The prospects of structural-morphometric analysis for landscape research.** The original methodology of structural-morphometric analysis is adapted for the DEM-based GIS-analysis. The results of the analysis are summarized in the mid-scale maps series. Prospective directions for landscape interpretation are defined.

Keywords: structural-morphometric analysis, GIS-analysis, DEM, SRTM

Свидзинская Д.В. **Перспективы структурно-морфометрического анализа в ландшафтных исследованиях.** Оригинальная методика структурно-морфометрического анализа адаптирована для реализации посредством геоинформационного анализа ЦМВ. Результаты анализа обобщены в серии среднемасштабных карт. Определены направления их ландшафтной интерпретации.

Ключевые слова: структурно-морфометрический анализ, геоинформационный анализ, ЦМВ, SRTM

Надійшла до редколегії 02.07.2013