

## ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В МОДЕЛЮВАННІ

© Мкртчян О.С., 2002

В статье рассматривается вопрос определения точности цифровых моделей рельефа и его значение для оценки меры риска при принятии решений на их основе. Показана необходимость определения и учета даже небольших погрешностей в ЦМР. На конкретном примере показана возможность применения метода Монте-Карло для оценки погрешности производного слоя уклонов земной поверхности.

The article considers the problem of the identification of the precision of digital elevation models (DEMs), that are often used to assist the decision making in various fields. It is shown on the simple example how the presence of even the small error in DEM can affect the decision taken and why it should be accounted for in risk assesment. The Monte Carlo error simulation was applied to assess the errors of the derivative layer of slopes.

Протягом останнього десятиріччя спостерігається інтенсивний розвиток геоінформаційних технологій, із яким пов'язане створення цифрових геопросторових баз даних. Незважаючи на перспективи їхнього широкого прикладного використання, питанням оцінки точності географічних даних приділяється недостатньо уваги. Поширення геоінформаційних технологій створює додаткову ілюзію точності та бездоганності даних, представлених із використанням сучасних методів комп'ютерної графіки ([2], с. 1). Проте більша чи менша

похибка є невід’ємною рисою будь-яких географічних даних, тому метою вирішення даної проблеми, за висловом Ароноффа, має бути не ліквідація похибки (що є в принципі неможливим), а її контролювання ([2], с. 141). Останнє полягає у визначенні величини й розподілу цієї похибки та уживанні заходів для її зменшення, доки ці заходи є виправданими практичною вигодою від зменшення похибки. Також слід зазначити, що власне похибка (розбіжність між реальністю та її представленням) є лише однією з форм непевності – ширшого поняття, детальний розгляд якого виходить за межі цієї статті.

Для векторних шарів, які відображають межі землеволодінь (кадастрових парцел) та становлять основу систем реєстрації землеволодінь та земельного кадастру, основною формою непевності є неточність у відображенні просторового положення цих меж. Для даних про розподіл природних характеристик земної поверхні проблема непевності значно ускладнюється тим, що інформація, сутнісною властивістю якої є єдність об’єкта та суб’єкта відображення, виявляється просіяною через низку концептуальних фільтрів, якими є використовувані при зборі та представленні інформації теоретичні уявлення, поняття, методики, моделі тощо. Кожний з цих фільтрів привносить власну частку непевності, яка не завжди усвідомлюється.

У геоінформаційних системах, створюваних для підтримки системи Державного земельного кадастру, оцінювання землі, планування землекористування тощо особливу роль відіграють дані про гіпсометрію (рельєф) земної поверхні. Ці дані мають винятково широкий спектр можливих практичних застосувань – від визначення ухилів поверхні для оцінки прохідності терену при проектуванні траси майбутньої дороги та оцінки ризику розвитку ерозійних процесів при плануванні протиерозійних заходів, до оцінки небезпеки ранніх заморозків при плануванні розміщення плодових насаджень та визначення розмірів страхових внесків при страхуванні нерухомого майна на випадок затоплення під час паводка. Крім того, гіпсометричні дані служать основою для виділення генетичних форм рельєфу, які своєю чергою служать індикаторами характеру ґрунту, підстилаючих його порід та екологічних умов місцезростань. Враховуючи вищезазначене, можна стверджувати, що якісні гіпсометричні дані є необхідною складовою будь-якої геоінформаційної системи, у функції якої входять інвентаризація, оцінка та аналіз природних (фізичних) властивостей земної поверхні.

У сучасних цифрових базах даних головним способом представлення гіпсометричної інформації є цифрова модель рельєфу (ЦМР), найчастіше у формі растрового шару підвищень. Растровий шар ЦМР можна використовувати для отримання похідних шарів ухилів, експозиції та кривизни земної поверхні та як основу складнішого аналізу для визначення характеристик дренажної системи, моделювання руху поверхневих та ґрунтових вод тощо. І. Крутлов, зокрема, вважає за доцільне включення ЦМР у блок топографо-геодезичної основи географічної бази даних автоматизованого Державного земельного кадастру України [1].

Специфікою теперішньої ситуації в Україні є достатньо добра забезпеченість великомасштабними топографічними картами поряд із малою кількістю детальних якісних цифрових даних та браком коштів на проведення детальних знімів на значних територіях із використанням сучасних методів. У таких умовах перспективним є створення цифрових моделей рельєфу методом оцифровки відповідних шарів топокарт із подальшим використанням сучасних алгоритмів для інтерполяції цих даних.

У нашій роботі цей метод було застосовано для створення ЦМР ділянки долини верхньої течії р. Дністер та прилеглих схилів (Старосамбірський район Львівської області) загальною площею 24 км<sup>2</sup>. Первинними даними було використано 638 ізогіпс, проведених з

інтервалом 5 м, 192 відмітки висот із детальністю 0,1 м та шар тальвегів, створений комбінацією ліній водотоків та тальвегів, оцифрованих із використанням шару ізогіпс як підкладки. Для інтерполяції використано програму ANUDEM, створену Хатчінсоном [4] і доступну через модуль GRID програмного пакета ARC/INFO (команда TOPOGRID). Отримана ЦМР (розмір растрової піксели 10\*10 м) показана на рис. 1. На рис. 2 показано перспективне зображення рельєфу ділянки, отримане з використанням даної ЦМР.

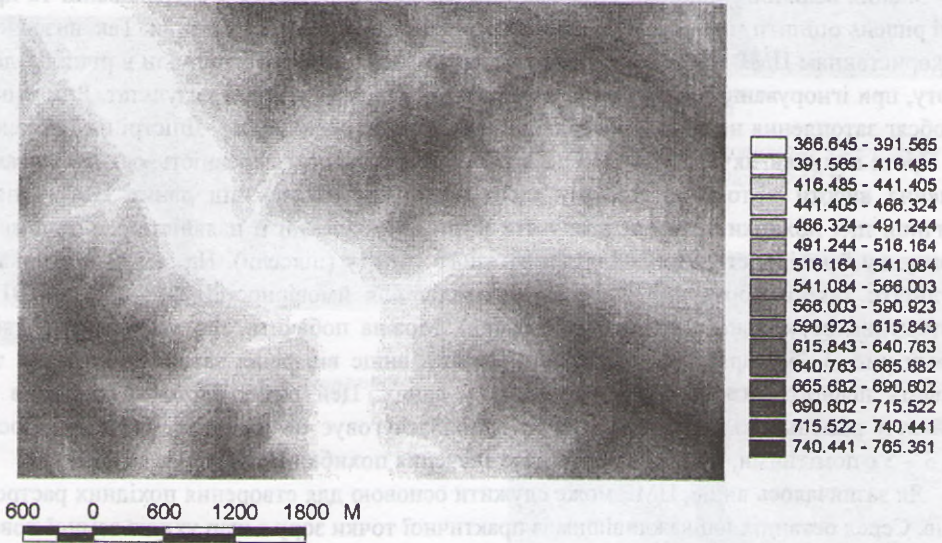


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу



Рис. 2. Перспективне зображення рельєфу ділянки  
(вигляд з північного заходу, вертикальний масштаб перебільшено втричі)

Похибка отриманої ЦМР є сукупним результатом дії різних чинників, серед яких – похибка результатів первісного знімання, похибка оцифровки та похибка інтерполяційного алгоритму. Для визначення сумарної похибки отриманої ЦМР із первинного шару відміток висот, який використовувався при інтерполяції, було вилучено 25 (із 192) відміток (показані трикутниками на рис. 1), після чого модель була перерахована, а вилучені точки використані як контрольні. Контрольні точки поділено на три групи за їхнім місцезнаходженням – точки на вершинних поверхнях, на схилах та у днищах долин.

Визначена таким способом середня похибка (середнє квадратичне відхилення) значення висоти становила 1,73 м, що є добрим результатом, враховуючи гірську особливість місцевості та метод отримання ЦМР. Розподіл похибки за типами місцезнаходжень вказує на порівняно слабку її залежність від цього фактора. У подальших розрахунках дана похибка вважатиметься однаковою для всієї ділянки. Визначення її просторового розподілу сприяло би точнішим та надійнішим результатам застосування моделей, проте воно є досить складним.

Знання величини похибки дозволяє при використанні даних у моделюванні та прийнятті рішень оцінити міру ризику, зумовленого наявністю похибки в даних. Так, визначення з використанням ЦМР площ, які буде затоплено в разі підняття рівня води в річці на деяку висоту, при ігноруванні наявної похибки дасть цілком однозначний результат. Рис. 3 показує обсяг затоплення на модельній ділянці при піднятті рівня води у Дністрі над межею на 3 м. Проте похибка, яку містить ЦМР, вносить у цей результат непевність, оскільки реальне значення висоти у тому чи іншому місці може відрізнятись від даних ЦМР. Знання величини цієї похибки дозволяє врахувати ризик, зумовлений її наявністю, за допомогою підрахунку ймовірності затоплення для кожного пункту (піксели). На рис. 3 – 5 показані результати такого обрахунку у формі квантилів для ймовірностей 0,5; 0,2 та 0,01 (за припущення нормального розподілу похибки). Можна побачити, що деякі площі, які, за даними рис. 3 (без врахування похибки), лежать вище від рівня затоплення, все ж таки зазнають певного ризику через неточність у даних. Цей ризик варто враховувати при прийнятті рішень, які спираються на ці дані. Заслуговує на увагу те, що відмінності у рис. 3 – 5 є помітними, незважаючи на мале значення похибки ЦМР.

Як зазначалось вище, ЦМР може служити основою для створення похідних растрових шарів. Серед останніх найважливішим із практичної точки зору є шар ухилів земної поверхні, який одержують, використовуючи оператор сусідства з малим вікном (3×3 м.). Шар ухилів поверхні для модельної ділянки показаний на рис. 6.

Для обрахунку похибки отриманого таким способом шару ухилів поверхні найефективнішим є метод Монте-Карло ([3, с. 58]. Даний метод полягає в імітації ефекту похибки первинного шару(-ів). Для цього до первинного шару (рис. 1) вводиться (додається) випадкова величина, значення та розподіл якої відповідають розподілу похибки цього шару. До отриманого таким способом шару, який містить імітовану похибку, застосовується дана операція або модель (у нашому випадку – обраховуються ухили поверхні), після чого отриманий результат порівнюється з результатом первинного моделювання, без врахування похибки (рис. 6). Відмінності між цими шарами є результатом похибки первинного шару ([3, с. 45]. Для отримання надійного результату цю процедуру потрібно повторити велику кількість (від десятків до десятків тисяч) разів з усередненням результатів.

У нашій роботі для застосування даного методу було створено невелику програму (макрос) мовою АМЛ програмного пакета ARC/INFO, після чого було здійснено моделювання з 2000 ітераціями. Похибка ЦМР вважалась нормально розподіленою із середнім квадратичним відхиленням 1,73 м та відсутністю просторової кореляції (автокореляції). Останнє припущення є штучним, оскільки в дійсності деяка похибка в значенні для певної піксели передбачає більшу ймовірність появи похибки того ж знака в сусідніх пікселях, тобто існує позитивна автокореляція. Остання зменшує похибку похідних шарів, отриманих із використанням операторів сусідства, зокрема, шару ухилів поверхні. Отриманий результат, показаний на рис. 7, відображає максимальні значення похибки, яка в дійсності є дещо меншою.

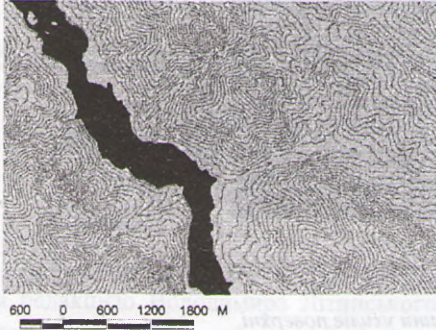


Рис. 4. Площа ймовірного затоплення  
(ймовірність > 20 %)

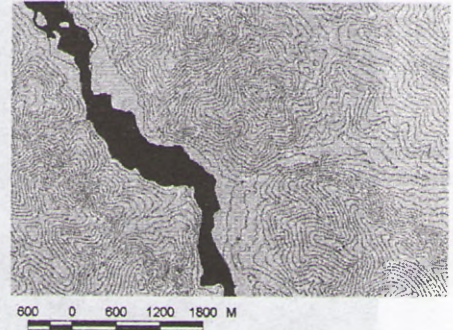


Рис. 3. Площа ймовірного затоплення  
(ймовірність > 50 %)

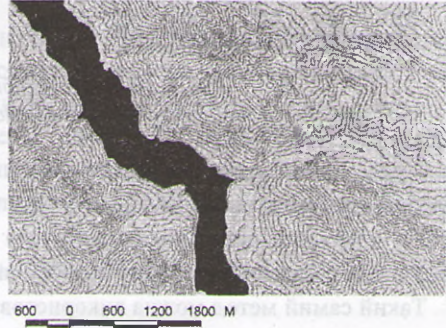


Рис. 5. Площа ймовірного затоплення  
(ймовірність > 1 %)



Ухил, градуси

	0.004 - 5.353
	5.353 - 10.702
	10.702 - 16.05
	16.05 - 21.399
	21.399 - 26.748
	26.748 - 32.097
	32.097 - 37.446
	37.446 - 42.795
	42.795 - 48.144

600 0 600 1200 1800 M

Рис. 6. Ухили земної поверхні

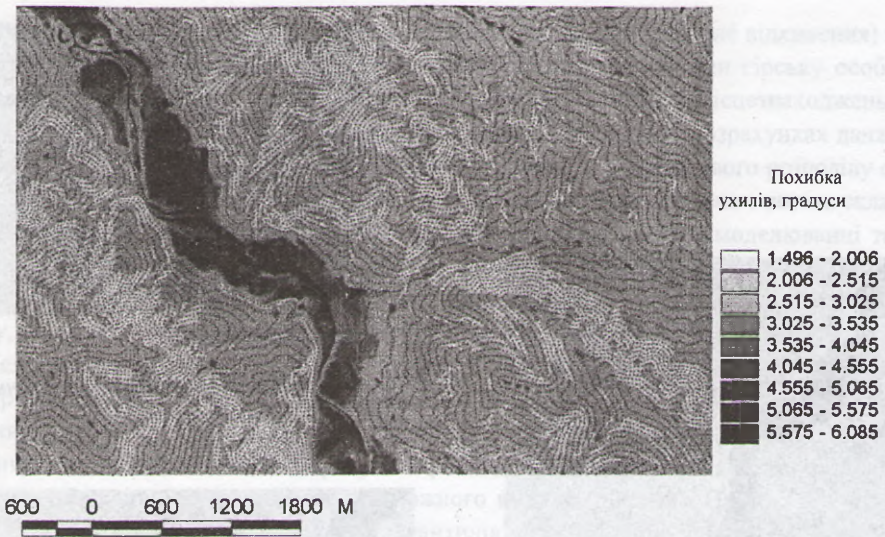


Рис. 7. Розподіл похибки величини ухилів поверхні, отриманий методом Монте-Карло з 2000 ітераціями

З рис. 7 видно, що найбільші значення похибки ( $5 - 6^\circ$ ) характерні для дна долини р. Дністер, найменші ( $1,5 - 2,5^\circ$ ) – для крутих схилів. Середнє значення похибки становить  $3,21^\circ$ , із помітною від'ємною кореляцією з величиною крутизни: крутішим схилам, як правило, відповідають менші значення похибки і навпаки.

Такий самий метод можна використовувати для моделювання поширення похибки для інших просторових операцій та моделей порівняно простих (визначення експозиції та кривизни схилів), так і складних, в тому числі з кількома вхідними шарами. Похибка останніх може бути як представленою єдиним значенням для усього шару (як у нашому випадку), так і просторово розподіленою (представленою додатковим просторовим шаром розподілу похибки “головного” шару). Головний недолік даного методу – необхідність виконання дуже великої кількості одноманітних обчислень, компенсується швидким ростом в останні роки обчислювальних потужностей комп'ютерів та зниженням їх ціни.

Отже, швидкий розвиток геоінформаційних технологій та розширення сфери їхнього використання висуває нові проблеми, серед яких важливе місце займає проблема управління похибками, які є неминучим атрибутом будь-яких географічних даних. Визначення величини похибки, а за можливості й її статистичного та просторового розподілу, дозволить правильно оцінити ризики, пов'язані з використанням неточних даних, ймовірність розвитку шкідливих процесів та критичних ситуацій, дасть змогу оптимізувати методику збору даних.

1. Круглов І. Геоінформаційний аспект організації державного земельного кадастру України // *Мат. міжнар. конф. “Інженерна геодезія та кадастр у народному господарстві”*. – Львів – Жешув. – 1998. – С. 85 – 93. 2. Aronoff S. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. – Ottawa: WDL Publications, 1989. – 294 p. 3. Gerard B. M. Heuvelink. *Error Propagation in Environmental Modelling*. Taylor & Francis, 1998. – 127 p. 4. Hutchinson, M.F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits // *Journal of Hydrology*: 106, P. 211 – 232.