

*Рассмотрены особенности уравнивания нивелирования в геопотенциальных числах.*

*Приведены общие рекомендации относительно процесса уравнивания и пути решения проблем, которые при этом возникают.*

*Предложено схемы необходимых работ по уравниванию нивелирной сети в геопотенциальных числах.*

*Приведен пример уравнивания нивелирования в геопотенциальных числах.*

**Ключевые слова:** *нормальные высоты, гравитационное поле, геопотенциальные числа, уравнивание нивелирования.*

**O.V. Kucher  
V.S. Staroverov  
H.S. Akchurina**

### **THE MODERN APPROACH TO EQUALIZATION LEVELING NETWORK OF UKRAINE**

*Indicated that the heterogeneity of the actual gravitational fields leads to ambiguity of define heights. Normal height, which are used in Ukraine are geopotential height system that requires the use of geopotential numbers.*

*Bringing method equalization leveling networks taking into account Earth's gravitational field.*

*Consider the features of the leveling equalization in geopotential numbers.*

*Provides general recommendations regarding equalization process and ways of solving problems that arise in this case.*

*A scheme of work necessary equalization leveling network geopotential numbers.*

*Gave an example of equalization of leveling in geopotential numbers.*

**Keywords:** *normal heights, gravitation field, geopotential number, equalization leveling network.*

Надійшла до редакції

20.07.2015

УДК 528.48

**А.В. Островський**, асп. кафедри інженерної геодезії,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

### **КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ, ТОЧНОСТІ І ПОВНОТИ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ**

*Stosovno моделювання рельєфу залишаються невирішеними питання, серед яких основним є виявлення впливу різноманітних чинників на точність математичного моделювання рельєфу, вибір оптимальних математичних методів створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Проблема високоточного математичного моделювання є особливо важливою в задачах з проектування*

*об'єктів за ЦМР, визначення гідрологічних характеристик, дослідження ерозійних процесів. Таким чином, проблема побудови ЦМР надалі залишається актуальною задачею як в науковому, так і в прикладному аспектах.*

**Ключові слова:** *позиційна точність, дисперсія похибок висот, неіснуючий острів.*

**Вступ.** Бурхливий розвиток геоінформатики породжує чимало додатків, у яких використовується та чи інша цифрова модель рельєфу земної поверхні. Переважна кількість таких додатків, наприклад, прогноз повеней, гарантування безпеки польотів, об'ємне представлення карти на екрані комп'ютера тощо, потребують по можливості якомога точніших моделей.

**Актуальність роботи.** Найчастіше вимоги щодо точності ЦМР можна задовольнити, створюючи моделі на основі цифрових топографічних карт відповідного масштабу, що містять інформацію про рельєф у вигляді ізоліній, відміток висот, відміток урізів води та ін. Процес створення моделі рельєфу (в триангуляційному або матричному вигляді) за цифровими даними такого типу нині добре досліджений і реалізований в багатьох ГІС-пакетах. Однак очевидно, що якість і точність одержуваної моделі залежить від якості, точності і особливостей представлення вихідних цифрових даних - ізоліній, відміток висот та ін.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Детальний аналіз точності ЦМР, створених за картометричним і фотограмметричним методами, виконала у своїх працях Х. Бурштинська [8; 9; 10]. У роботах О. Левченко [6; 7] розглянуто питання кількісної оцінки точності побудови цифрових моделей рельєфу у вигляді grid-поверхонь, що ґрунтується на аналізі середньоквадратичних похибок моделей для різних параметрів лінійного універсального кригінгу та триангуляції. Відомі також праці зарубіжних авторів на цю тематику – С.В. Абламейка [5], О.Р. Мусина та ін.

**Постановка завдання.** Яким чином можна побудувати коректну і якісну модель рельєфу, використовуючи для цього вже створені цифрові топографічні карти? Напевно, цьому має сприяти максимальне використання неявної на мапі інформації про рельєф.

**Виклад основного матеріалу.** Критеріями якості побудованих ЦМР є позиційна точність і дисперсія похибок висот.

*Позиційна точність даних і типи помилок.* Позиційна точність визначається як величина відхилення вимірювання даних про місцезнаходження (зазвичай координат) від істинного значення. Для її визначення виходять з масштабу дослідження або первинного матеріалу, наприклад, в даних про природні ресурси прагнуть досягти точності карти заданого масштабу. Дотримання більшої точності потребує більш якісних вихідних матеріалів, але завжди слід замислитися, чи виправдані додаткові витрати завданнями дослідження.

Для зменшення значень помилок у вимірюванні місцеположення вдаються до геодезичного контролю та систем супутникового позиціонування, а також створення масивів даних географічної прив'язки. До даних висувають особливо високі вимоги до точності та достовірності ще на етапі збирання вихідної інформації. Застосування даних як основи для їх інтеграції у відомих оригінальних масштабах і проєкціях не викликає труднощів. У всіх інших випадках потрібне перетворення інформації, виконуване за правилами картографічної генералізації та узгодження.

Більшу частину даних про місцезнаходження об'єктів беруть з аерознімків, при цьому точність залежить від правильного розміщення контрольних точок. Дані космічної зйомки важче розміщувати з великою точністю – через недостатню роздільну здатність знімка.

На весь набір даних впливають: помилки реєстрації та визначення контрольних точок, перетворення координат, особливо коли невідомою є проєкція вихідного документа; помилки в обробці даних, неправильний логічний підхід, генералізація і проблеми інтерпретації; математичні помилки; втрата точності представлення через невисоку точність обчислень; переведення векторних даних в растровий формат.

У базах даних (БД) зазвичай використовують відомості з різних джерел з різним ступенем точності. Під час накладання безлічі карт точність результативного матеріалу може виявитися дуже низькою. Більший інтерес становить показник придатності отриманої карти. Для деяких типів операцій ступінь придатності карт визначається точністю найменш точного шару БД. Показник придатності можна оцінити також за його стійкістю під час зміни порядку введення даних або зміни ваги атрибута [1].

Часто виникають штучні ознаки помилок (артефакти) – небажані наслідки застосування високоточних процедур для обробки просторових даних, що мають невелику точність. Використання растрових даних дає змогу застрахуватися від артефактів, якщо розмір елемента растра більший за позиційну точність даних або дорівнює їй. Під час роботи з векторними даними артефакти виникають у процесі кодування та накладення полігонів.

Для того щоб перевірити позиційну точність, потрібно використовувати незалежне, точніше джерело, наприклад, карту більшого масштабу, дані супутникового позиціонування, первинні («сирі») дані зйомки. Для контролю можна використовувати і внутрішні ознаки: незамкнуті полігони, лінії, що проходять вище або нижче від вузлових точок, і т. п. Величина цих похибок може слугувати мірою позиційної точності.

Найбільш надійним шляхом створення якісних БД, особливо для багаторазового і багатокористувацького застосування, є зберігання інформації про точність у самій БД у вигляді атрибутів або метаданих.

*Критерії точності.* Однак очевидно, що якість і точність одержуваної моделі визначається якістю, точністю й особливостями представлення вихідних цифрових даних – ізоліній, відміток висот тощо.

Практика свідчить, що одержувані за цифровими картами моделі рельєфу, на жаль, найчастіше є некоректними, тобто неправильно відтворюють рельєф місцевості в деяких зонах. До таких зон належать русла річок з крутими й обривистими берегами. Наявні на карті в цих зонах елементи рельєфу не дають змоги достатньо коректно описати рельєф загалом.



Рис. 1. Фрагмент карти з ділянкою річки

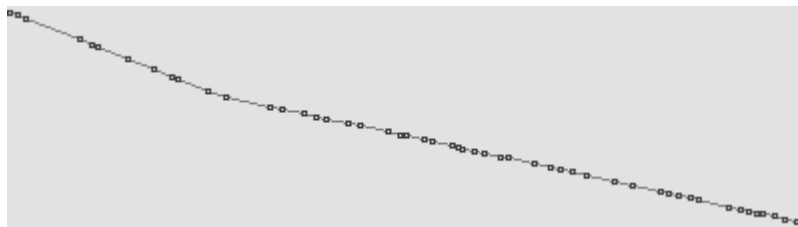


Рис. 2. Профіль рельєфу вздовж ділянки річки

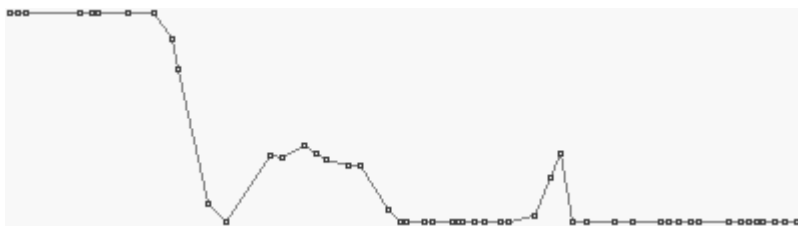


Рис. 3. Профіль після обробки

На рис.1 виділена ділянка річки, вздовж якої за моделлю рельєфу був побудований профіль місцевості. Розрахований профіль представлений на рис. 2. Видно, що профіль істотно відрізняється від монотонно-спадної функції, яка описує течію річки. Це пояснюється тим, що горизонталі вздовж русла річки складаються з окремих відрізків, які перериваються урвищем. Отже, модель рельєфу формується то з одних, то з інших «шматків» ізоліній, зокрема й тих, які мають величину приписаних висот, що значно відрізняються від істинної висоти русла. У результаті профіль рельєфу має не монотонну, а зубчасту форму.

Наведений приклад не є поодиноким випадком. Обстеження близько 100 листів цифрових карт масштабу 1:200 000, 1:1 000 000 рівнинних і гірських місцевостей виявило, що на більш ніж 90% листів трапляється одна або декілька немонотонно поточних річок. Це свідчить про те, що така ситуація є радше типовою, ніж винятковою. Отже, можна дійти висновку, що коректна побудова моделі рельєфу за цифровими топографічними картами неможлива без попередньої обробки, що унеможливило негативний вплив особливостей подання даних на картах.

Потрібно пам'ятати, що точність профілів, побудованих на основі цифрової моделі рельєфу, яка безпосередньо залежить від точності і коректності вихідних даних для моделі, часто є помітно нижчою, ніж точність профілів, побудованих в результаті польової інструментальної зйомки [2].

*Критерії повноти. Повнота ЦМР.* На ЦМР відображено всі континенти, великі острови, архіпелаги Землі. Однак слід зазначити часткову відсутність дрібних, протяжних або низьких островів, що ілюструється наступними прикладами (рис. 4; 5):



Рис. 4. Часткова відсутність дрібних, протяжних або низьких островів



Рис. 5. Часткова відсутність дрібних, протяжних або низьких островів

Не обведені лініями острови не відображено на ЦМР. У районах, де спостерігається безліч дрібних островів, такі ситуації не рідкісні. Розміри пропущених на ЦМР островів звичайно сумірні з розміром осередку цифрової моделі – приблизно 90 м. Але зрідка розміри пропущених островів сягають 300 метрів за максимально довгою стороною острова.

На наш погляд, відсутність дрібних островів пояснюється навмисним застосуванням спеціальної обробки радіосигналу, відбитого від водних поверхонь (для ЦМР, отриманої в проекті SRTM). У процесі обробки, мабуть, видаляються дрібні неоднорідності водної поверхні, порівнянні з розміром одного елемента ЦМР, і вирівнюється (з нульовою висотою) вся поверхня Світового океану.

Ще одна особливість ЦМР - наявність неіснуючих островів (рис. 6). Такі ситуації трапляються вкрай рідко, але все ж можливі. Нижче наведена одна з таких ситуацій. Це риф або мілина, що, можливо, за сильного відпливу перетворюється на сушу [3].

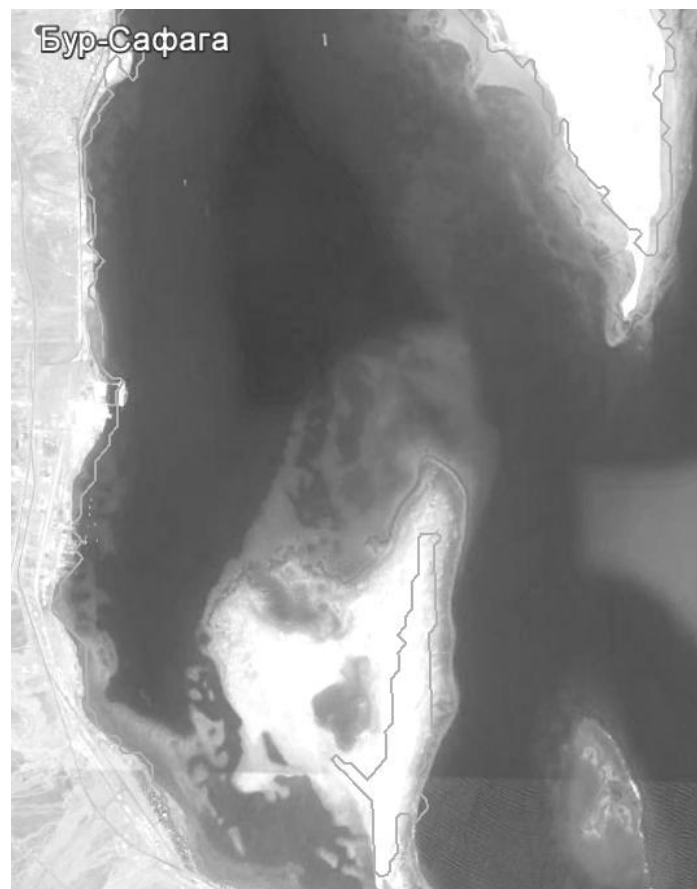


Рис. 6. Неіснуючий острів

Важливим завданням інженерно-геодезичного вишукування при цьому стає забезпечення адекватності створюваної ЦМР фізичному стану місцевості, необхідної і достатньої проектувальнику для ухвалення проектних рішень у процесі створення ЦМР. Така адекватність, крім дотримання норм інженерно-геодезичних вишукувань (точність, склад, повнота даних), особливо потребує:

- відповідності цифрової моделі рельєфу її топографічній реальності;
- просторового представлення в моделі підземних і надземних комунікацій;

- багат шаровості моделі рельєфу і ситуації із завданнями, потрібними проектувальникам, розподілом даних за ієрархічно організованими верствами;  
- інформаційної насиченості об'єктів моделі відомостями, потрібними для ухвалення проектних рішень та їх погодження.

**Висновок.** Отже, якісні оцінки точності побудови цифрових моделей рельєфу у вигляді grid-поверхонь через відтворення горизонталей дають підстави для деяких попередніх висновків [7]. Зокрема, для створення grid-поверхні рельєфу на рівнинних ділянках доцільно застосовувати кригінг з використанням для інтерполяції кожної комірки 50 точок, а у височинних та гірських районах – кригінг на 25 точках, який дає приблизно таку саму точність, однак його виконують у чотири рази швидше. Модель, побудована на базі триангуляції, дає гіршу картину відтворення горизонталей порівняно з кригінгом, вона має характерні помилки, що полягають у «зрізуванні» крутих вигинів горизонталей. Проте остаточно визначитися з параметрами інтерполяції grid-поверхонь рельєфу можна лише на підставі кількісних оцінок.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Сайт* онлайн бібліотеки освітньої і наукової літератури «Edu-Knigi.ru» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://edu-knigi.ru/tikunov/geoinformatika.php?id=30>. – Назва з екрана.
2. *Сайт* компанії «ЗАО КБ "Панорама"» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gisinfo.ru/item/22.html>.
3. *Сайт* «Триангуляція, робота з полігонами і інші алгоритми» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://achawk.narod.ru/DEM.html>. – Назва з екрана.
4. *Сайт* компанії «Estate 3d Ltd.» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.est-3d.ru/articles/tciphrovaia\\_model\\_mestnosti.html](http://www.est-3d.ru/articles/tciphrovaia_model_mestnosti.html). – Назва з екрана.
5. *Абламейко С.В.* Метод підвищення точності моделювання рельєфа местности/ С.В. Абламейко // Геодезія и картографія. – 1993. – № 3. – С. 42-45.
6. *Левченко О.* Створення неперервних поверхонь рельєфу у картографічній системі Arcview / О. Левченко // Вісник Львів. ун-ту. – Львів, 2000. – Вип. 2. – С. 191-196. - Серія прикл. мат. та інф.
7. *Левченко О.* Дослідження точності побудови grid-поверхонь рельєфу: кількісна оцінка / О. Левченко // Вісник Львів. ун-ту. – Львів, 2006. – Вип. 11. – С. 236-243. - Серія прикл. мат. та інф.
8. *Бурштинська Х. В.* Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картометричними даними: автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.24.02 / Х. В. Бурштинська; [Національний ун-т "Львівська політехніка"]. – Львів, 2003.
9. *Бурштинська Х.В.* Основні чинники впливу на точність побудови цифрових моделей рельєфу/ Х.В. Бурштинська // Матеріали VII Міжнародного науково-технічного симпозіуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології». – Алушта. – 2002. – С. 10-17
10. *Бурштинська Х.В.,* Дослідження точності побудови цифрових моделей рельєфу на основі картометричних даних / Х.В. Бурштинська, О.С. Заяць // Вісник геодезії і картографії. – 2002. – № 2. – С. 26-31.

**REFERENCES**

1. Sayt kompaniyi «ZAO KB "Panorama"» [ Site of the company "ZAO KB" Panorama"].gisinfo.ru.item.22.html. Retrieved from <http://www.gisinfo.ru/item/22.html>. [in Russian].
2. Sayt on layn biblioteky osvity i naukovoyi literatury «Edu-Knigi.ru» [Site online library of educational and scientific literature «Edu-Knigi.ru»]. edu-knigi.ru.tikunov.geoinformatika.php?id=30. Retrieved from <http://edu-knigi.ru/tikunov/geoinformatika.php?id=30>. [in Russian].
3. Sayt «Trianhulyatsiya, robota z polihonamy i inshi alhorytmy» [Site "Triangulation, work with polygons and other algorithms"]. achawk.narod.ru.DEM.html. Retrieved from <http://achawk.narod.ru/DEM.html>. [in Russian].
4. Sayt kompaniyi «Estate 3d Ltd.»[ Site of the company «Estate 3d Ltd.»]. [www.est-3d.ru.articles.tciphrovaia\\_model\\_mestnosti.html](http://www.est-3d.ru/articles/tciphrovaia_model_mestnosti.html). Retrieved from [http://www.est-3d.ru/articles/tciphrovaia\\_model\\_mestnosti.html](http://www.est-3d.ru/articles/tciphrovaia_model_mestnosti.html). [in Russian].
5. Ablameyko S.V. (1993). Metod povysheniya tochnosti modelirovaniya relefa mestnosti [The method of increasing the accuracy of the modeling terrain]. Geodeziya i kartografiya – Geodesy and Cartography, 3, 42 – 45 [in Russian].
6. Levchenko O. (2000). Stvorenyya neperervnykh poverkhon' rel'yefu u kartorafichnyy systemi Arcview[Creation of continuous relief surfaces in the cartographical system Arcview]. Visn. L'viv. un-tu. Ser. prykl. matematyka ta informatyka – Reporter Lviv university series applied mathematics and informatics [in Ukrainian].
7. Levchenko O. (2005). Doslidzhennya tochnosti pobudovy grid-poverkhon' rel'yefu: yakisna otsinka [Study accuracy building grid-relief surfaces: a qualitative assessment]. Visn. L'viv. un-tu. Ser. prykl. matematyka ta informatyka – Reporter Lviv university. series applied mathematics and informatics [in Ukrainian].
8. Burshtyn's'ka Kh.V. (2003). Teoretychni ta metodolohichni osnovy tsyfrovoho modelyuvannya rel'yefu za fotohrammetrychnymy ta kartometrychnymy danymy [Theoretical and methodological bases for digital terrain modeling and photogrammetric dimensions on landscape maps data]. Doctor's thesis. National University "Lviv Polytechnic". – Lviv [in Ukrainian].
9. Burshtyn's'ka Kh.V. (2002). Osnovni chynnyky vplyvu na tochnist' pobudovy tsyfrovyykh modeley rel'yefu [The main factors affecting the accuracy of digital elevation models]. Materials from GmeGG '02: VII Mizhnarodnyy naukovy-tekhnichnyy symposium “Heoinformatsiynnyy monitorynh navkolyshn'oho seredovyscha – GPS i GIS-tekhnolohiyi” – Materials of VII International scientific and technical symposium "Geoinformation monitoring of environment - GPS and GIS-technologies". Alushta [in Ukrainian].
10. Burshtyn's'ka Kh.V., Zajac A.S. (2002) Doslidzhennya tochnosti pobudovy tsyfrovyykh modeley rel'yefu na osnovi kartometrychnyykh danykh [Study accuracy of digital elevation models based on photogrammetric dimensions on landscape maps data]. Visnyk heodeziyi i kartografiyi – Bulletin of Surveying and Mapping, [in Ukrainian].



## КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА, ТОЧНОСТИ И ПОЛНОТЫ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

*Относительно моделирования рельефа остаются нерешенными вопросы, среди которых доминирующими являются выявление влияния различных факторов на точность математического моделирования рельефа, выбор оптимальных математических методов создания ЦМР. Проблема высокоточного математического моделирования особенно важна в задачах проектирования объектов по ЦМР, определение гидрологических характеристик, исследования эрозионных процессов. Таким образом, проблематика построения ЦМР является в дальнейшем актуальной задачей как в научном, так и в прикладном аспектах.*

**Ключевые слова:** *позиционная точность, дисперсия ошибок высот, несуществующий остров.*

A. Ostrovsky

## CRITERIA OF QUALITY, ACCURACY AND COMPLETENESS DIGITAL ELEVATION MODELS

*Regarding modeling relief remain unresolved issues, among which are the dominant identification of various factors on the accuracy of the mathematical modeling of the relief, the choice of optimal mathematical methods DTM. The problem of high-precision mathematical modeling is particularly important in the tasks of designing facilities for the DEM, the definition of the hydrological characteristics, the study of erosion processes. Thus, the problems of DTM is an urgent task in the future both in the scientific and applied aspects. The process of creating elevation model (or a triangular matrix form) in this type of digital data is now well understood, implemented in many GIS packages. But it is clear that the quality and accuracy of the obtained models determined by the quality, accuracy and presentation features original digital data - contours, elevation marks, etc.*

**Keywords:** *positional accuracy variance of the error of heights, non-existent island.*