

УДК 51-74

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.149530

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МАП РЕЛЬЄФУ ДЛЯ НАЗЕМНОЇ НАВІГАЦІЇ

© С. В. Мехедов

Дана стаття присвячується огляду основних принципів побудови мап рельєфу для наземної навігації, зокрема за допомогою використання даних SRTM. Актуальність дослідження полягає в повсякденному використанні цифрових моделей рельєфу в різних сферах життєдіяльності людей. В нинішній час к цифровим моделям рельєфу пред'являються жорсткі вимоги щодо точності. Багато досліджень направлено саме на методах підвищення точності отриманих цифрових моделей рельєфу

Ключові слова: навігація, рельєф, дані, SRTM, цифрові моделі, точність, ландшафт, залежність, геоморфологія, лінії

1. Вступ

Рельєф є одним з головних факторів, що обумовлює розвиток різних природних процесів на поверхні Землі. Так, він визначає особливості формування поверхневого стоку і схилових процесів, істотно перерозподіляє сонячну радіацію, що приходить на землю, при цьому формуючи ландшафтну диференціацію навіть на локальних територіях.

Отримання інформації про рельєф традиційними методами завжди досить трудомістке, часто передбачається побудова ряду морфометричних карт з топографічних основ того чи іншого масштабу.

Тому, в даний час широко використовують електронне представлення рельєфу, яке в контексті географічних інформаційних систем (ГІС) має векторне або растрове уявлення [1].

Одним із методів, за допомогою якого можна побудувати цифрові моделі рельєфу, є використання методів SRTM.

SRTM (Shuttle radar topographic mission) – радарна інтерферометрична зйомка поверхні Землі, здійснена в лютому 2000 р радіолокаційними сенсорами SIR – C і X-SAR з борту космічного корабля "Шаттл". Дані SRTM поширюються у вигляді сіток з розміром комірки 1 кутова секунда і 3 кутові секунди.

Більш точні дані (SRTM1) доступні на території США, на іншу поверхню Землі доступні тільки трисекундні дані (SRTM3). Файл (SRTM3) являє собою матрицю з 1201×1201 значень, яка може бути імпортована в різні програми побудови карт і ГІС.

Матриця SRTM являє собою цифрову модель рельєфу (ЦМР), яка далі засобами ГІС може піддаватися просторовому аналізу і інтерпретації. Безсумнівна перевага використання програмних засобів ГІС – це автоматизація контурного дешифрування об'єктів дослідження, яка не тільки зменшує трудовитрати, але також практично виключає суб'єктивний (людський) фактор [2]. Саме це й показує актуальність даного дослідження.

2. Літературний огляд

Рівень пізнання морфологічних властивостей земної поверхні і картографічна вивченість рельєфу, яка виступає в якості об'єкта дослідження, явно недостатні. Морфологічна структура рельєфу, опис сполучень його геометричних форм і елементів до сих

пір залишалися поза областю регіональних геоморфологічних досліджень [3].

Незважаючи на те, що дослідження просторово-часової структури геосистем є традиційними в географічній науці питання ієрархії просторово-часової організації географічних систем і суворі алгоритмізація її моделювання до теперішнього часу відносяться до актуальних завдань географічної науки.

При проведенні подібних досліджень доцільне подання рельєфу в ГІС як цифрової моделі рельєфу (ЦМР) у вузлах регулярної сітки значень абсолютних висот. Такий підхід при адекватній побудові моделі дозволяє провести морфометричний аналіз, автоматизований кількісний аналіз рельєфу засобами ГІС технологій.

До найбільш відомих і фундаментальних, з аналізу рельєфу, як поля висот, можна віднести роботу [4].

Точність матриці SRTM вивчалася вченими різних країн. Так в роботі [5] оцінюється помилка матриці SRTM наступними величинами: для рівнинної місцевості – 2,9 м, горбистій – 5,4 м. На їхню думку, матриця SRTM підходить для створення горизонталей на картах масштабу 1:50 000 і дрібніше, а також може використовуватися при створенні ортофотопланів на основі космічних знімків високої роздільної здатності.

Приблизно схожі результати призводять і інші зарубіжні дослідники. Проводилося тестування матриці SRTM і в РФ в роботі [6] на підставі вивчення 3-х територіально роз'єднаних тестових ділянок, та приходить до висновку, що дані SRTM можуть бути використані для оновлення топооснови територій, де відсутні детальні топографо-геодезичні матеріали.

В роботі [7] також використовується територіально роз'єднані ділянки: острів Ольхон на Байкалі (гірський рельєф), район міста Саратов (рівнинний рельєф), район міста Сочі (високогірний рельєф). [7]

З матеріалів порівняння слідував висновок про відповідну точність матриці SRTM і матриці карти масштабу 1:100 000.

На думку автора, матриця SRTM може бути використана при створенні ортофотопланів у масштабі 1:25 000 і дрібніше на райони з рівнинним рельєфом. У районах з гірським рельєфом для попереднього складання ортофотопланів необхідна додат-

кова корекція космічних знімків, що враховує умови зйомки.

У високогірних районах для виготовлення ортофотопланів масштабу 1:25 000 розмір комірки занадто великий.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є огляд основних принципів побудови мап рельєфу, зокрема за допомогою використання даних SRTM, для їх застосування у територіальному плануванні, моделюванні екологічних ситуацій, наземній навігації.

При виконанні даного дослідження були поставлені наступні задачі:

1. Визначити методи побудови мап рельєфу для наземної навігації;
2. Розглянути принципи використання даних SRTM для побудови карт наземної навігації.

4. Принципи побудови мап рельєфу для наземної навігації

У визначенні рельєфу як основного об'єкта геоморфології існують дві системи поглядів. В одному із загальноприйнятих трактувань рельєф утворює певну сукупність форм земної поверхні, яку можна описати у вигляді набору просторово координованих висотних відміток. Такий підхід до дослідження форм земної (фізичної) поверхні називають геометричним. В альтернативному трактуванні рельєфу враховуються і його геологічні тіла.

У геоморфології «геометричний підхід» в дослідженні земної поверхні, при якому саме ця поверхня є самодостатнім об'єктом аналізу, давно отримав самостійний розвиток, для чого існували передумови, закладені ще Гауссом у вигляді диференціальної геометрії поверхонь.

Побудова моделі рельєфу, що забезпечує виділення ієрархічних одиниць його поверхні, достовірно різниться за природними екологічними властивостями і потенційним геофізичними характеристиками, дає можливість порівняння потенційних і реальних (в термодинамічних умовах конкретних морфологічних систем) геофізичних полів. Така дискретизація дозволяє будувати векторні поля градієнтів геофізичних полів геосистем, виявляти параметри порядку самоорганізації геосистем і досліджувати закономірності складання їх вертикальної і горизонтальної структури [8].

В нинішній час ЦМР можна отримати з двох видів джерел: до перших відносяться дані радарної зйомки поверхні землі; до других видів джерел відносяться горизонталі топографічних карт різного масштабу, які можна використовувати як вихідні дані в різних методиках апроксимацій для отримання ЦМР [1].

Логічна структура даних цифрової інтегрованої моделі географічних систем відображає геодинамічну єдність внутрішніх і зовнішніх сфер Землі. Ієрархічна структура даних всього комплексу компонентів (кліматичної системи, ґрунтів, гідрографічної мережі, рослинності) будується відповідно до класифікації і формує структуру об'єктів факторів. Така

система даних масштабована і конструктивна, оскільки орієнтується на розуміння генетичної природи ієрархії. При цьому об'єкти клімату на регіональному рівні додатково ідентифіковані по однотипним величинам і напрямку градієнтів основних факторів: температури і опадів – кліматичне поле регіону, також як і рельєф, характеризується на основі відображення просторової енергетики процесів його формування.

Кожен об'єкт характеризується параметрами структурно-формуєчих (інваріантних) факторів, що мають достовірні відмінності з аналогічними параметрами інших об'єктів того ж рангу. Такий підхід забезпечує функціонально узгоджене структурування простору за його вертикального і горизонтального вимірах і надає фактичні дані для верифікації моделей будови і розвитку геосистем, побудови спеціалізованих моделей.

В області класифікації ієрархічних рівнів геосистем існує невирішена проблема суворого алгоритмізації системної упорядкованості вертикальної і горизонтальної структури.

Досвід визначення точними кількісними методами полі- і моно системної організації ландшафтів на основі інваріантних параметрів компонентів показав, що в умовах стійкості ці моделі не працюють [8].

В загальному вигляді термін «цифрове моделювання» в геоінформатиці використовується при використанні можливостей математичних методів і програмних засобів для моделювання об'єктів земної поверхні [9].

Основним елементом моделювання є цифрова модель місцевості, яка отримується за допомогою різноманітних технологій. Цифрові моделі зберігаються двома способами: в базах даних або у вигляді незалежних файлових структур.

Цифрові моделі оперують з різними типами інформації.

Метрична інформація визначає вимірювальні характеристики об'єктів, тобто координати, розміри.

Ця інформація відносно проста і однорідна по структурі, в силу чого вона стає сильно типізованою.

Атрибутивна інформація включає в себе атрибутивні дані та метадані. Вона може поділятися на семантичну, технологічну та інші види.

Даний тип інформації визначає приналежність об'єктів до певного класу, описує властивості об'єктів та їх частин, задає взаємозв'язки і умови обробки, умови відтворення тощо.

Синтаксична інформація визначає послідовність роботи при коректуванні чи оновленні цифрових моделей, правила їх побудови і представлення.

Технологічно можна виділити наступні види моделювання:

1. Семантичне;
2. Інваріантне;
3. Геометричне;
4. Евристичне;
5. Інформаційне.

Вони проявляються в різному степені на різних системних рівнях обробки інформації.

Приклад цифрової моделі рельєфу представлений рис. 1.

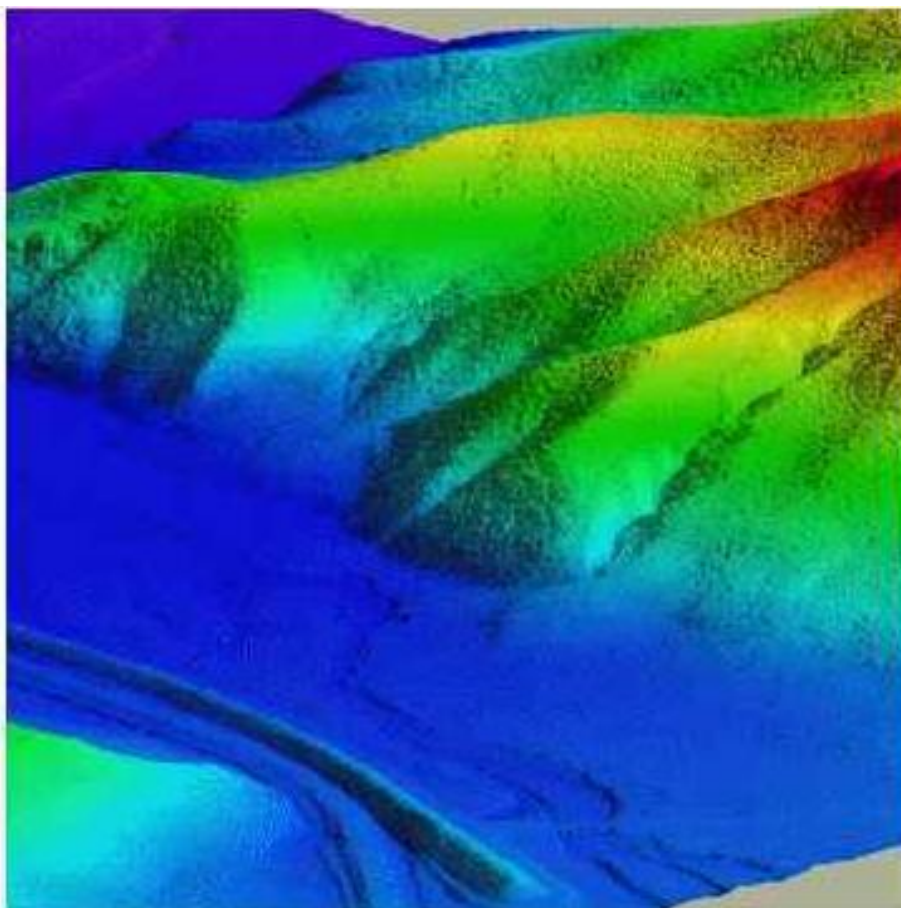


Рис. 1. Приклад цифрової моделі рельєфу

Цифрове моделювання рельєфу, результатом якого є створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), – одна з потужних і широко поширених функцій ГІС.

Під ЦМР (digital elevation model, digital terrain model, DEM, DTM) прийнято розуміти засіб представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь або рельєфів) у вигляді тривимірних даних, що утворюють безліч висотних відміток і інших значень аплікату в вузлах регулярної або нерегулярної мережі або сукупність записів горизонталей чи інших ізоліній.

Горизонталі можна уявити як набір точок з абсолютними висотами і використовувати методи моделювання по точках: метод Шепарда; крігінг; радіальні функції; середньозважена інтерполяція і т. д. [5].

Однак при такому підході втрачається велика кількість інформації, закладеної в структурі горизонталей як геометричних об'єктів. Таким чином, для подібних даних повинні розроблятися власні методи, що враховують їх особливості.

Для створення ЦМР по горизонталях можна виділити три найбільш часто вживаних методи моделювання: на основі триангуляції, аналітичних сплайнів, кусково-поліноміального згладжування.

Всі три методи мають як переваги, так і недоліки. При використанні триангуляції виходять спотворення на краях, звідси слідує, що треба використовувати інформацію, яка представляє внутрішні трикутники, однак це рідко вдається, часто територіального запасу інформації немає.

Сплайн-інтерполяція мінімізує кривизну поверхні. Вважається, що для цієї мети зручні і практичні бікубічні функції.

Кусково-поліноміальне згладжування здійснюється, як видно з назви, поліномами різного ступеня. Їх «кусоквисть» полягає в тому, що на кожен конкретну ділянку апроксимації підбираються нові коефіцієнти по новому набору даних.

Різні шматки поверхні побудовані за допомогою різних поліноміальних функцій. Поверхня, побудована таким чином, виходить найбільш гладкою [10].

Методики дозволяють створювати ЦМР по горизонталях і програмних засобів, що реалізують їх, не так багато. Найбільш відомими програмними продуктами, що дозволяють це зробити, є: ArcGis, ILWIS, IDRISI, MagSurf [11].

Альтернативним джерелом даних відносно висот є вільно поширювані дані SRTM (Shuttle radar topographic mission), доступні на більшій частині території земної кулі з роздільною здатністю моделі 90 м.

У 2011 році за даними зйомки сенсора X-SAR Німецьке аерокосмічне агентство (DLR) створило ЦМР SRTM X-band з розміром комірки 30×30 м. Дана ЦМР містить значні прогалини між смугами зйомки: чим південніше, тим більше пропусків.

Як вже вказувалося, дані SRTM існують в декількох версіях: попередні (версія 1, 2003 р.) і остаточна (версія 2, лютий 2005 р.). Остаточна версія

пройшла додаткову обробку, виділення берегових ліній і водних об'єктів, фільтрацію помилкових значень. Дані поширюються в декількох варіантах – сітка з розміром вічка 1 кутова секунда (~30 метрів) і 3 кутові секунди (~90 метрів).

Досить часто виготовляються планово-картографічні матеріали, зазвичай починаючи з масштабу 1:25 000 (планшети). У масштабі 1:50 000 і дрібніше виготовляються плани і укрупнені плани різного роду ландшафтів.

Зіставляючи наведені дані про точність матриці SRTM і рекомендації щодо їх використання, слід висновок про її застосованість для вирішення значної кількості науково-практичних завдань.

5. Результати досліджень

Апарат досліджень сучасної географії поповнився активним поєднанням геоінформатики та аерокосмічного зондуванням. Основним методом геоінформатики вважається цифрове моделювання та тісно пов'язане з ним геоінформаційне картографування.

Методично дослідження просторових об'єктів (систем) в геоінформатиці здійснюються шляхом створення цифрових інформаційних моделей місцевості, окремим випадком яких є ЦМР.

Карти як джерело вимірювань кількісних показників різних просторових об'єктів в даний час представлені переважно цифровими картографічними продуктами.

6. Висновки

1. Визначено методи побудови мап рельєфу для наземної навігації. Існують такі методи побудови, як семантичний; інваріантний; геометричний; евристичний; інформаційний.

В наш час повсюди використовуються цифрові моделі рельєфу, які постійно намагаються вдосконалити. Серед численних сфер використання цифрової моделі рельєфу можна виділити наступні:

- вивчення та кількісна оцінка сучасного стану природного середовища;
- територіальне планування (міське, ландшафтне та ін.);
- моделювання екологічних ситуацій;
- прогнозування ландшафтних процесів та ін.

2. Розглянуто принципи використання даних SRTM для побудови карт наземної навігації.

Перелік науково-практичних завдань, для яких використовуються дані SRTM (навігація, моделювання, прогнозування) може бути продовжений, що дозволяє оцінити сферу застосування матриці SRTM.

Зрозуміло, що всі такого роду завдання вирішуються на основі спеціальних матеріалів і відомостей, але залучення програмних засобів аналізу рельєфу місцевості внесе важливі додаткові переваги, серед яких особливо слід виділити об'єктивність контурного дешифрування об'єктів вивчення, часткову автоматизацію картографічних робіт і, що є дуже важливим, точність.

Література

1. Думит Ж. А. Использование цифровых моделей рельефа: прикладной аспект // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. 2008. № 5. С. 178–183.
2. Pogorelov A. V., Doumit J. A. Quantitative terrain analysis of curvature parameters from digital elevation models // AI-Topographe. Ordre des GEO-TOPOGRAPHES Libanais. 2009. Issue 13. P. 70–73.
3. Doumit J. A. Method of watershed delineation using GIS technologies // AI-Topographe. Ordre des GEO-TOPOGRAPHES Libanais. 2009. Issue 13. P. 63–66.
4. Arias H. Introduction to hydrology modeling using ArcGIS 8.3 // The Arc Hydro Model. 2008. P. 21.
5. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. XXXVII-B7. P. 169–172.
6. Муравьев Л. А. Высотные данные SRTM против топографической съемки. URL: geo.web.ru/db/msg.html?mid=1177761
7. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы SRTM. URL: www.racurs.ru/?page=506
8. Оньков И. В. Определение параметров преобразования плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса по одноименным точкам // Геопрофи. 2009. № 6. С. 56–59.
9. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. 2010. № 10. С. 48–51.
10. Siart C., Bubenzer O., Eitel B. Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete // Geomorphology. 2009. Vol. 112, Issue 1-2. P. 106–121. doi: <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.05.010>
11. Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ. Библиотека численного анализа НИВЦ МГУ. URL: http://num-anal.srcc.msu.ru/lib_na/libnal.htm

*Рекомендовано до публікації д-р ф.-м. наук Зуб С. С.
Дата надходження рукопису 25.09.2018*

Мехедов Євген Володимирович, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: eugene.mekhedov@gmail.com