

УДК [528.422:528.88](477.85)

## ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ТА ВІДПОВІДНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ДАНИХ SRTM (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Гуцул Тарас

Кафедра геодезії, картографії та управління територіями, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, вул. Коцюбинського 2, Чернівці, Україна, 58012

Досліджено відповідність даних глобальних висот SRTM різним за масштабами та умовами рельєфу (рівнинний, горбкуватий, гірський) топографічним картам. Виявлено основні причини похибок та встановлено шляхи їх мінімізації. В результаті виконаного дослідження з'ясовано пропозиції по використанню ЦМР на основі джерела даних SRTM.

*Ключові слова* – ГІС, ДЗЗ, модель, поверхня, рельєф, ЦММ, ЦМР.

### Вступ

Незважаючи на простоту модельованого об'єкту – рельєфу, що на перший погляд добре описується математично як поверхня або поле, практика передбачає багато способів та технологій створення ЦМР.

Основними джерелами інформації під час цифрового моделювання рельєфу залишаються крупномасштабні топографічні карти. Абсолютна більшість номенклатурних аркушів топографічних карт масштабів від 1:10000 до 1:200000 застаріла, і не відповідає сучасному стану місцевості: 98,4% топографічних карт цих масштабів відображають інформацію про стан місцевості більш як десятирічної, а 70,3% – більш як двадцятирічної давності. Зміст топографічних карт, як основного джерела цифрового моделювання на сьогодні є незадовільним та не відповідає нормативним вимогам щодо періодичності оновлення. Все це обумовлює пошук нових даних та методів їх обробки, спроможних з заданою точністю, оперативністю та відповідністю задовольнити потреби цифрового моделювання.

Хорошою альтернативою в ситуації, що склалася можуть стати дані глобальних висотних моделей, розміщені у відкритому доступі. На сьогодні найбільшого поширення набули: ЦМР SRTM C-Band (просторове розрізнення 90 м); SRTM X-Band (30 м) та ASTER GDEM (30 м).

### Постановка проблеми

Питанням точності відкритих глобальних висот даних в планетарному охопленні займалися учасники місії SRTM та ASTER GDEM. На офіційних сайтах в специфікаціях програм оприлюднено відомості щодо усередненої точності моделей для континентів. Однак, дослідження багатьох вчених по всьому світу переконливо засвідчують, що заявлена точність може суттєво варіюватися в локальному охопленні, і залежить від багатьох чинників.

### Аналіз останніх досліджень

А. К. Корвел та І. Евіак оцінюють помилку матриці SRTM величинами: для рівнинної місцевості – 2,9 м, горбистої – 5,4 м. [Karwel, 2008].

Схоже дослідження мало на меті виявлення вертикальної точності даних SRTM в діапазонах C-Band та X-Band для гірських районів території Польщі. Одержаним даним властиві середні похибки на рівні від  $4,31 \pm 14,09$  м та  $9,03 \pm 37,40$  м відповідно. При цьому, в обох випадках наявність лісового покриву збільшує середню помилку приблизно на 10 м. [Kolecka, 2014].

Виявлення впливу кута падіння досліджено в [Мальцев, 2018], де автор проводить оцінку точності глобальних ЦМР SRTM C-SIR та ASTER GDEM відносно топографічної карти масштабу 1:10000. Зазначається, що середні помилки ухилів, обчислених для різних регіонів світу коливаються для даних SRTM в діапазоні від  $-2,54^\circ$  до  $7,37^\circ$ .

Аналіз помилок морфометричних показників виконано на основі порівняння частин глобальних ЦМР SRTM C-SIR та ASTER GDEM на прикладі рельєфу водозбору відносно завідомих точніших даних. В ролі таких, використано оцифровані векторні дані топографічної карти 1:10000:

На основі топографічної карти побудовано ЦМР з використанням програмного засобу ArcGIS за методикою [Hutchinson, 1989]. Цей метод інтерполяції загалом не вносить до ЦМР більше помилок, ніж їх було на топографічній карті. Крок регулярної растрової сітки обрано рівним – 5 м. Результати аналізу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Показники точності моделей**

Параметр	Значення для моделі	
	SRTM	ASTER
Об'єм вибірки	35657	35657
Середня помилка	-0,39	-7,23
Середня абсолютна помилка	1,01	7,37
Середнє відхилення (за модулем)	1,07	6,38
Мінім. знач. різниці, м	-6,74	-45,91
Максим. знач. різниці, м	12,13	8,36

Статистичні показники, обчислені за абсолютною величиною різниці показують менші помилки в моделі SRTM порівняно з ASTER. Середня помилка, обчислена за модулем в моделі SRTM майже в 7 разів нижча, а стандартне відхилення, що оцінює розподіл значень помилки відносно середнього, в моделі SRTM в 6 разів менше.

Приблизно аналогічні результати наводять інші зарубіжні дослідники. Тестування матриць SRTM для територіально розрізаних об'єктів здійснено Л. А. Муравйовим [Мурав'єв, 2007], і дозволяє стверджувати, що означені дані можуть застосовуватися для оновлення топографічних основ територій при відсутності матеріалів.

Ю. І. Каріонов також застосовував різні за характером умов рельєфу ділянки (високогірну – м. Сочі, гірську – о. Ольхон на Байкалі та рівнинну – м. Саратов) [Каріонов, 2010]. Вихідними даними для порівняння були матеріали аерофотознімання з вертикальною точністю 1 м та векторизовані топографічні карти 1:100000 з роздільною здатністю комірок матриці – 50 м.

Із матеріалів порівняльного аналізу слідує висновок щодо відповідності точності матриці SRTM та матриці топографічної карти масштабу 1:100000. Автор припускає, що матриця SRTM після додаткової корекції може застосовуватися для створення ортофотопланів 1:25000 на райони з рівнинним та горбистим рельєфом.

Дослідженням точності моделей SRTM та ASTER для території України займався [Постельняк, 2015]. Загальна площа території дослідження становила 450 км<sup>2</sup>. Порівняльним еталоном слугувала цифрова орографічно-триангуляційна модель рельєфу. Для уточнення оцінювання моделей побудовано графіки кореляції висот. Для моделі SRTM 79% усіх різниць знаходяться в діапазоні від -5 м до 5 м, тоді як для моделі ASTER у цьому ж діапазоні знаходиться лише 45% усіх різниць. В обох випадках, розподіл був нормальним, і підтвердив кращу якість моделі SRTM.

Ще одне дослідження якості висотних моделей SRTM та ASTER на територію України проводилося в районі басейну р. Західний Буг. У першій частині дослідження оцінювалася точність обох глобальних ЦМР на основі їх відхилення від висот 67 пунктів державної геодезичної мережі. Отримані СКП визначення висот для моделі SRTM – 3,5 м та для моделі ASTER – 6,3 м. Друга частина дослідження передбачала порівняння поверхонь, отриманих за моделями SRTM та ASTER з еталоною ЦМР, отриманою за картографічними даними (масштаб 1:10000, переріз рельєфу – 1 м). Результати засвідчили переважання абсолютних помилок в діапазоні значень від -3 м до 0 м на відкритих і забудованих територіях [Процик, 2012].

Під час порівняння даних ASTER та SRTM, і подальшого з'ясування їх точності на прикладі

о. Крит виявлено можливість досягнення вертикальної точності на рівні від  $\pm 2,36$  м (регіон Пн. Тракліон) до  $\pm 7,82$  м (регіон Сітія) [Nikolakopoulos, 2006].

### Мета

Оцінка можливості використання побудованих ЦМР з відкритої глобальної висотної моделі даних SRTM для прикладних потреб шляхом встановлення її точності в межах тестових ділянок топографічних поверхонь різної деталізації та умов рельєфу.

### Методика

Основні методи дослідження можна розділити за етапністю – експериментальне моделювання поверхонь, їх статистичний та просторово-кореляційний аналіз, порівняльний аналіз відносно обраних контрольних точок.

На першому етапі, скановано та векторизовано елементи рельєфу топографічних карт масштабу 1:25000 в межах трапецій: М-35-135-Bv (гірська), М-35-135-Gg (горбкувата), М-35-125-Gb (рівнинна). У зазначених межах, векторизовано рельєф цієї території й з творів масштабу 1:50000 та 1:100000. Дані глобальних висотних моделей SRTM завантажено зі служби USGS Earth Explorer в межах трапецій 1:25000 з метою коректного порівняння всі моделі приведено до системи координат WGS-84 та вертикальної дати EGM-96. Роздільну здатність кожної побудованої моделі встановлено аналогічно до растрів глобальних висотних моделей SRTM в 25 м.

Статистична обробка даних передбачає використання адитивної моделі помилок, згідно якої різниця висот SRTM  $H_{SRTM}$  та топографічного рельєфу земної поверхні  $H_{ТОРО}$  :

$$\Delta H = H_{SRTM} - H_{ТОРО} \quad (1)$$

розглядається у вигляді суми систематичної  $\Delta H$  та випадкової  $d_H$  помилок:

$$\Delta H = \Delta H + d_H \quad (2)$$

Основними показниками точності моделі прийнято наступні параметри:

1) середнє:

$$(\bar{d}) = \frac{\sum d}{n} \quad (3)$$

де  $d$  – різниця висот двох матриць в комірці і  $n$  – кількість комірок.

$$d = H_1 - H_2 \quad (4)$$

2) стандартне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

- 3) величина, яка з ймовірністю не перевищить 90 %

$$(LE90) = 1,645 \times s \quad (6)$$

- 4) величина, яка з ймовірністю не перевищить 95%

$$(LE95) = 1,96 \times s \quad (7)$$

Матриця кореляції (інструмент Band Collections Statistics) показує значення коефіцієнтів кореляції, що вказують на зв'язок двох наборів даних, наприклад відображає зв'язок значень комірок одного шару із значеннями комірок на іншому растрі.

Якість ЦМР оцінюють порівнянням одержаних результатів з нормативними значеннями середньоквадратичного відхилення визначення висотного положення точки. На кожній зйомочній трапеції масштабу 1:25000 повинно бути не менше 3-х пунктів планово-висотної геодезичної основи, включаючи пункти ДГМ, геодезичних мереж згущення і точки зйомочних мереж закріплених на місцевості центрами.

### Результати

Попри заявлену абсолютну точність глобальної моделі SRTM – 16 м по висоті, одержані результати свідчать, що точність даних четвертої версії SRTM щонайменше вдвічі більша. На ділянці в межах аркуша М-35-125-Г-б (рівнинна територія) спостерігається близькість середнього значення та середньоквадратичного відхилення, що вказує на систематичну помилку (див. табл. 2).

Таблиця 2

### Статистичні параметри карт різницевої ЦМР (між топографічними картами і даними SRTM)

Масштаб	Тип рельєфу	Середнє	Стандартне відхилення	LE90, м	LE95, м
1:25000	Рівнинний	1,93	3,04	5,00	5,95
	Горбкуватий	1,02	7,53	12,39	14,76
	Гірський	-2,42	9,22	15,17	18,07
	Гірський	-2,42	9,22	15,17	18,07
1:50000	Рівнинний	1,67	3,42	5,63	6,71
	Горбкуватий	0,75	7,29	11,99	14,29
	Гірський	-2,61	10,59	17,42	20,76
1:100000	Рівнинний	1,52	4,22	6,94	8,27
	Горбкуватий	0,80	4,83	7,95	9,47
	Гірський	-2,55	10,52	17,31	20,62

Деталніше проаналізувати висотні матриці можна шляхом групування різниць, які з заданою

ймовірністю 90% не перевищать відхилення характеризованої оцінки висот точки від істинного значення її висоти (див. табл. 3).

Таблиця 3

### Діапазони значень відхилень відміток SRTM відносно поверхонь топографічних карт

Рельєф \ Масштаб	1:25000	1:50000	1:100000
Рівнинний	[-5,+5]	[-6,+6]	[-7,+7]
Горбкуватий	[-12,+12]	[-11,+11]	[-8,+8]
Гірський	[-14,+14]	[-14,+14]	[-14,+14]

Аналіз матриць лінійної кореляції растрових поверхонь топографічних карт різних масштабів та даних SRTM показав дуже високий рівень зв'язку у всіх випадках (див. табл. 4).

Таблиця 4

### Матриця кореляції растрів поверхонь

Рельєф \ Масштаб	1:25000	1:50000	1:100000
Рівнинний	0,937	0,939	0,968
Горбкуватий	0,970	0,969	0,968
Гірський	0,966	0,966	0,965

Контрольні точки обиралися виключно на відкритій, позбавленій забудови та рослинності території (див. табл. 5).

Таблиця 5

### Матриця кореляції растрів поверхонь

Рельєф	Назва пункту ДГМ або висотної позначки	Висота за:		Різниця, м
		топо. картою	SRTM	
Рівнинні	Анадоли	252,812	246	6,812
	Долиняни	293,942	290	3,942
	Владична	294,678	286	8,678
Горбкуватий	Слобідка	404,505	395	9,505
	уріз води 320,6	320,600	319	1,600
	уріз води 312,5	312,500	310	2,500
Гірський	Черешенька	439,645	434	5,645
	Сисна	418,352	413	5,352
	Кічера	785,400	774	11,400

### Висновки

Статистичний аналіз висотних матриць SRTM підтвердив наявність систематичної помилки для

рівнинної території, пов'язаної з наявністю ділянок вкритих деревною та чагарниковою рослинністю.

Із всіх побудованих карт різниць, найменше стандартне відхилення та коефіцієнт варіації характерний для ЦМР SRTM рівнинної (4,83) та горбистої (3,04) місцевості, що свідчить про те, що ці ЦМР максимально наближені до топографічних карт масштабу 1:25000.

Просторово-кореляційний аналіз поверхонь показав дуже високий рівень схожості з даними поверхонь одержаних з топографічних карт у всіх випадках для всіх типів рельєфу місцевості.

Результати порівняння за контрольними точками засвідчили високу точність (відносно наведеної у специфікації) даних SRTM та їх максимальне наближення до поверхонь топографічних карт.

Огляд фахової літератури засвідчує про можливість використання поверхонь за даними SRTM взамін матеріалів топографічних карт під час розв'язання актуальних задач прикладного характеру. Зокрема, при: оцінці висот рослинного покриву, трасуванні автомобільних доріг, розв'язанні гідрологічних задач, корегуванні ґрунтових карт, розрахунку поправки гравітаційного поля за впливом рельєфу місцевості і т. ін.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hutchinson M. F. A new procedure for gridding elevation and stream of data with automatic removal of spurious pits / M. F. Hutchinson. // *Journal of Hydrology*. – 1989. – №106. – p. 211–232.
2. Karwel A. K. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland / A. K. Karwel, I. Ewiak. // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2008. – №37. – p. 169–172.
3. Kolečka N. Assessment of the Accuracy of SRTM C- and X-Band High Mountain Elevation Data: a Case Study of the Polish Tatra Mountains / N. Kolečka, J. Kozak. // *Pure and Applied Geophysics*. – 2014. – №171. – p. 897–912.
4. Nikolakopoulos K. G. SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece / K. G. Nikolakopoulos, E. K. Kamaratakis, N. Chrysoulakis. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2006. – №21. – p. 4819–4838.
5. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM / Ю. И. Карионов // *Геопрофи*. – 2010. – № 1. – С. 48-51.

6. Мальцев К. А. Цифровые модели рельефа и их использование в расчётах темпов смыва почв на пахотных землях / К. А. Мальцев, В. Н. Голосов, А. М. Гафуров. // *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. – 2018. – №160. – С. 514–530.

7. Муравьев Л. А. Высотные данные SRTM против топографической съемки [Электронный ресурс] / Л. А. Муравьев // *Всё о геологии. Проект геологического факультета МГУ им. Ломоносова*. – 2007.

8. Постельняк А. А. Методичні основи застосування технологій геометричної корекції космічних знімків для топографічного картографування : дис. канд. техн. наук : 05.24.01 / Постельняк А. А. – Київ, 2015. – 142 с.

9. Процик М. Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.24.01 "Геодезія, фотограмметрія та картографія" / Процик М. Т. – Львів, 2012. – 26 с.

#### ASSESSMENT OF ACCURACY AND CONSISTENCY OF DIGITAL SIMULATION RESULTS BASED ON SRTM DATA (FOR EXAMPLE, CHERNIVTSI REGION)

Hutsul Taras<sup>1</sup>

1. Department of Geodesy, Cartography and Territorial Administration, Chernivtsi National University. Y. Fedkovicha st. Kotsybinskogo 2, Chernivtsi, Ukraine, 58012, E-mail: targut@meta.ua

The purpose of the research is to evaluate the possibility of using constructed DEMs from open global altitudinal data models for applied needs by establishing their accuracy within test sections of topographic surfaces of various detail (1:25000, 1:50000, 1:100000) and terrain conditions (flat, hilly, mountain).

Research methods – experimental modeling of surfaces, their statistical and spatial-correlation analysis. Comparison, analysis and evaluation of the results obtained. The correspondence of SRTM and ASTER GDEM data to different scales and conditions of topographic maps was investigated. The main causes of errors were identified and ways to minimize them were identified.

Based on the study, recommendations were developed on the use of DMR based on global altitude data.

*Key words:* GIS, remote sensing, model, surface, relief, DEM, DTM.