

УДК 911.2:004.4 + 004.021

Д. В. Свідзінська

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ВИСОТ SRTM ТА ASTER ДЛЯ ЦІЛЕЙ ГІДРОЛОГІЧНОГО ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Подано порівняльну характеристику цифрових моделей висот (ЦМВ) SRTM та ASTER. В результаті гідрологічного аналізу ЦМВ побудовано декілька варіантів мережі водотоків. Верифікація результатів за даними топографічної карти масштабу 1 : 50 000 засвідчила, що найкращі результати отримуються за даними SRTM, а дані ASTER потребують додаткової обробки. Подальші перспективи пов'язані з побудовою високоточної ЦМР та здійсненням верифікації за результатами її аналізу.

Ключові слова: SRTM, ASTER, гідрологічний аналіз ЦМР, р. Чорна Тиса

D. V. Svidzinska

SRTM AND ASTER DIGITAL ELEVATION MODELS SUITABILITY ASSESMENT FOR THE PURPOSES OF HYDROLOGICAL GEOSPATIAL ANALYSIS

The comparative characteristic of SRTM and ASTER DEMs is given. Through the DEMs hydrological analysis a few versions of drainage network are modeled. Verification by the data of topographic map 1:50 000 has shown that the best results are produced by SRTM data whereas ASTER data need additional preprocessing. Further perspectives related to the construction of high-precision DEM and verification by the results of its analysis.

Keywords: SRTM, ASTER, DEM hydrological analysis, the Black Tisza River

Д. В. Свидзинская

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫСОТ SRTM И ASTER ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Дана сравнительная характеристика ЦМВ SRTM и ASTER. В результате гидрологического анализа ЦМВ построены несколько вариантов сети водотоков. Верификация результатов по данным топографической карты масштаба 1:50 000 показала, что наилучшие результаты получаются на основе данных SRTM, а данные ASTER нуждаются в дополнительной обработке. Дальнейшие перспективы связаны с построением высокоточной ЦМР и проведения верификации по результатам ее анализа.

Ключевые слова: SRTM, ASTER, гидрологический анализ ЦМР, р. Черная Тиса

Вступ. Серед стратегій геоекологічних досліджень та менеджменту особливе місце посідає басейновий підхід, що пояснюється декількома взаємопов'язаними чинниками [1, 3]:

- водозбірний басейн являє собою цілісну одиницю в організації земної поверхні, яка є інтегральним показником взаємодії кліматичних, гідрологічних та геоморфологічних факторів;

- як водотоки, так і водозбірні басейни характеризуються добре вираженими топологічними та (пара)ієрархічними властивостями, завдяки чому їх визначення та картографування є більш простою та об'єктивною процедурою порівняно з іншими конфігураціями ландшафту (наприклад, генетико-морфологічною);

- завдяки вищезазначеним особливостям, річкові басейни є зручними операційними територіальними одиницями менеджменту та охорони ландшафтів, що знайшло відображення у низці національних та міжнародних екологічних програм.

- З огляду на це актуальності набуває апробація методів оперативного картографування та аналізу елементів басейнної ландшафтно-територіальної структури (далі — ЛТС), втілених засобами гідрологічного геопросторового аналізу цифрових моделей рельєфу (далі — ЦМР).

Вихідні передумови. В результаті гідрологічного геопросторового аналізу ЦМР можуть бути отримані

лінії водотоків, місцеві вододіли, річкові басейни та інші гідрологічні характеристики. Спільним для всіх цих параметрів є те, що отримуються вони на основі т.зв. моделі перерозподілу поверхневого стоку, яка в загальному розумінні описує як стік з даної комірки растру ЦМР перерозподіляється між комірками, розташованими нижче за схилом. Результати такого моделювання можуть бути узагальнені у вигляді показника водозбірної площі (watershed area), площі збору (catchment area), сумарного стоку (flow accumulation) або площі висхідного схилу (upslope area) і покладені в основу картографування елементів басейнної ЛТС [6]. Таким чином, у випадку застосування автоматизованих методів картографування басейнної ЛТС, основним джерелом даних виступають ЦМР, якість яких безпосередньо визначає якість результатів картографування.

В умовах сучасної доступності даних, цифрові моделі висот (далі — ЦМВ) вільного доступу SRTM DEM та ASTER GDEM часто використовуються для цілей оперативного геопросторового аналізу та тематичного картографування [4,5,7]. Спроби оцінити репрезентативність та точність цих даних здійснювались неодноразово і більшість висновків сходяться на необхідності цілеспрямованої оцінки в кожному конкретному випадку з урахуванням особливостей території та цілей картографування, визнаючи при цьому задовільну якість даних в цілому [5,7,9-11].

Мета дослідження — оцінити придатність відкритих ЦМБ SRTM та ASTER для цілей гідрологічного геопросторового аналізу, послідовно вирішуючи наступні завдання:

- 1) обґрунтувати вибір території дослідження та дати її загальну характеристику;
- 2) дати порівняльну характеристику ЦМБ SRTM та ASTER;
- 3) визначити набір аналітичних інструментів та показників для здійснення геопросторового аналізу і оцінки його результатів;
- 4) на основі вищезазначених даних та методів дати оцінку придатності ЦМБ SRTM та ASTER для цілей гідрологічного геопросторового аналізу.

Загальна характеристика території дослідження. В якості території дослідження був обраний басейн р. Чорна Тиса. Основними чинниками, що визначили цей вибір, були:

- 1) цілісність території дослідження, яка являє собою єдиний водозбірний басейн;
- 2) можливість подальшої польової верифікації результатів, оскільки район басейну р. Чорна Тиса тривалий час виступає місцем проведення польових ландшафтознавчих практик для студентів географічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка;
- 3) наявність картографічних матеріалів крупного масштабу (1 : 50 000), придатних для камеральної верифікації результатів моделювання;

4) різноманіття фізико-географічних умов території і як наслідок — неоднорідність гідрологічних елементів.

Басейн р. Чорна Тиса, яка є правою притокою р. Тиса (басейн Дунаю), адміністративно розташований в Рахівському районі Закарпатської області. Загальна довжина самої річки 50 км, а площа водозбірного басейну 567,72 км². Абсолютні висоти коливаються в діапазоні 450-2 000 м. Основними притоками є річки Апшинець, Станіслав, Свидовець, Труфанець, Гропинець, Тростянець, Билинський (праві); Середній, Ілецький, Довжина, Лазецина, Красиленка, Ситний (ліві). Відповідно до схеми фізико-географічного районування територія річкового басейну розташована в межах двох районів — Ясінянського (Вододільно-Верховинська область) та Свидовецько-Чорногірського (Полонинсько-Чорногірська область).

Матеріали та методи. Для реалізації функцій геопросторового аналізу та підготовки картографічних матеріалів використовувались Відкриті настільні ГІС SAGA 2.1.1 [14] та QGIS 2.2 [13]. В якості вихідних матеріалів дослідження використано фрагменти ЦМБ SRTM та ASTER, порівняльну характеристику яких наведено в таблиці 1. Як бачимо, ASTER при заявленій втричі більшій за SRTM роздільній здатності (далі — РЗ) характеризується меншою вертикальною та горизонтальною точністю. Це пояснюється в першу чергу тим, що збільшення роздільної здатності також призвело і до збільшення чутливості у фіксації артефактів. Загалом, порівняльні оцінки цих даних сходяться на тому, що для деяких територій якість SRTM

є доволі високою і відповідає масштабу 1: 100 000 і навіть більше, в той час як точність ASTER не дивлячись на більшу РЗ — нижча, і може претендувати лише на масштаб 1: 100 000 і менше [10, 11]. Такі зауваження, а також бажання забезпечити кращу співставність результатів, змусили нас відпрацювати аналіз у двох варіантах.

В першому випадку і для SRTM і ASTER було встановлено єдиний розмір комірки 50 м, який є компромісним варіантом, що відповідає масштабу 1 : 100 000 [8]. В такому випадку, дані SRTM за рахунок збільшення РЗ набували дещо більшої виразності у передачі характерних рис рельєфу. Застосування ж ресемплінгу для даних ASTER мало протилежний ефект з паралельним елімінуванням високочастотної шумової компоненти.

В другому випадку дані ASTER використовувались з оригінально заявленою РЗ 1" (≈30 м). Перш ніж перейти безпосередньо до їх гідрологічного аналізу, для зменшення випадкового «крапчастого» шуму, було застосовано процедуру фільтрації сітчастого знешумлення (mesh denoise) [15]. Порівняно з іншими фільтрами, даний алгоритм дозволяє не лише елімінувати випадкову шумову компоненту, але і зберегти при цьому характерні риси рельєфу, навіть за умов неоднорідної топографії (гірський та рівнинний рельєф), що є принциповим для подальшого аналізу ЦМБ [15].

Наступним етапом в обробці ЦМБ була гідрологічна корекція, виконана за методом [12], який дозволяє заповнити локальні безстічні пониження із збереженням незначного ухилу (0,01°) і тим самим полегшує подальшу делінеацію водотоків.

Растр водозбірної площі (catchment area) був отриманий з використанням алгоритму DEMON (Digital Elevation Model Network) [2], який визначає напрям стоку на основі місцевого кута експозиції. Стік що генерується в межах комірки спрямовується донизу у вигляді двовимірної смуги. Ці смуги розділяють водозбори на нерегулярні за формою елементи, які визначаються парами прямокутних та рівнопотенційних (контурних) ліній. Ширина смуг стоку розширюється на опуклих ділянках, звужується на увігнутих, а в межах плоских поверхонь залишається сталою. Стік кожної комірки розраховується як сума стоку, що потрапляє до неї та стоку, що генерується нею самостійно. Коли стік досягає краю комірки в основному напрямку, тоді він повністю спрямовується до однієї сусідньої комірки. В протилежному випадку він розділяється між сусідами.

Делінеація водотоків проводилась за растром водозбірної площі: найкращі результати дали порогове значення водозбірної площі 50 000 м² та мінімальна довжина сегмента 5 пікселів. Для верифікації результатів використовувались дані гідрологічної мережі, отримані в результаті векторизації топографічних карт масштабу 1 : 50 000.

Результати та їх обговорення. В результаті було отримано три варіанти гідрологічної мережі, побудо-

Основні характеристики (суб)глобальних ЦМВ відкритого доступу SRTM та ASTER

	SRTM DEM 4	ASTER GDEM 2
відповідальні організації	Консорціум з просторової інформації Консультативної групи з міжнародних агродосліджень (CGIAR-CSI)	Міністерство економіки, торгівлі і промисловості (METI), Японія Національне управління з авіонавтики та досліджень космічного простору (NASA), США
режим доступу	http://srtm.csi.cgiar.org	http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp
технологія ДЗ	радарна інтерферометрія	радіометричне стереознімання
період отримання оригінальних даних	11-22 лютого 2000 р.	2000-2008 (версія 1) 2008-2010 (версія 2) збір даних триває
надходження у вільний доступ	2003	2009
вихід останньої версії	2008	2011
кількість етапів обробки	4	2
охоплення	60° пн.ш. – 56° пд.ш.	83° пн.ш. – 83° пд.ш.
просторова РЗ	3" (~90 м)	1" (~30 м)
розмір стандартного фрагменту	5*5*6 001*6 001 пікселів	1*1*3 601*3 601 пікселів
система координат	географічні широта та довгота датум WGS84 геоїд EGM96	географічні широта та довгота датум WGS84 геоїд EGM96
формат поширення даних	GeoTIFF 16 bit signed integer ASCII 16 bit signed integer	GeoTIFF 16 bit signed integer
спеціальні значення	-9999 NoData для ASCII -32768 NoData для GeoTIFF 0 поверхні морів та океанів	-9999 NoData 0 поверхні морів та океанів
зміст допоміжних файлів (масок) контролю якості	значення 1 ідентифікують ділянки пропусків, для заповнення яких використовувались допоміжні ЦМВ та інтерполяція	одатні значення – число стеків від'ємні значення – код допоміжного набору ЦМВ, використаного для заповнення пропусків
пропуски в даних характерні для	ділянок з складним рельєфом, що призводить до затінення та викривлення під час радарного знімання	територій, що характеризуються постійним хмарним покривом
способи заповнення пропусків	допоміжні ЦМВ аналогічної, меншої/ більшої РЗ, інтерполяція	допоміжні ЦМВ аналогічної або меншої РЗ
вертикальна точність (z): довірчий інтервал лінійної похибки 95%	~14 м	~20 м
горизонтальна точність (x,y): довірчий інтервал кругової похибки 95%	~10 м	~30 м

ваної за даними: SRTM з РЗ 50 м та ASTER з РЗ 50 м та 30 м. Верифікація проводилась наступним чином — перевірочний шар переводився в растровий формат так, щоб його охоплення та РЗ відповідали ЦМВ для якої відбувається верифікація. Після цього за допомогою оверлейного аналізу визначалась кількість співпадінь пікселів, що були ідентифіковані як водотоки автоматизовано та за топокартою. Результати аналізу та верифікації представлені на рис. 1.

Аналізуючи їх, варто відзначити низький рівень абсолютної позиційної узгодженості даних (від 21,82% у випадку ASTER з РЗ 30 м до 52,29% у випадку сумісного використання SRTM та ASTER). Разом з тим, моделювання дає доволі детальне уявлення про актуальний характер гідромережі, маючи тенденцію до її деталізації, адже в усіх трьох випадках довжина змодельованих водотоків перевищувала довжину перевірочних (табл. 2).

Найбільш близькі до істини результати дають ЦМВ SRTM та ASTER з РЗ 30 м, а дані ASTER без проходження підготовки навіть за умов зменшення РЗ дають найгірший результат. Крім того, у випадку ASTER збільшення довжини водотоків пояснюється також некоректною роботою алгоритму моделювання поверхневого стоку на плоских ділянках (центральна частина водозбірного басейну). В результаті цього продукувались надлишкові хибні паралельні водотоки, що і робили основний внесок в похибку.

Висновки та перспективи. Якість і точність результатів генерування гідрологічної мережі напряму визначається якістю вихідної ЦМР, як єдиної основи моделювання. За умов відсутності високоточних ЦМР доцільно використовувати відкриті (суб)глобальні ЦМВ SRTM та ASTER, але з урахуванням наступних принципів моментів:

- для проведення аналізу на ділянках з неоднорідним наземним покривом необхідне застосування удосконалених фільтраційних алгоритмів, які можуть ефективно елімінувати шумову компоненту із збереженням характерних рис рельєфу;

- для позбавлення від локальних безстічних знижень та ефективної роботи алгоритмів моделювання поверхневого стоку обов'язковою умовою є проведення гідрологічної корекції;

- абсолютна позиційна точність змодельованої гідрологічної мережі може залишатись незадовільною внаслідок похибок пов'язаних зі співвідношенням датумів та систем координат;

- разом з тим, моделювання на основі SRTM та ASTER дозволяє отримати результати, які задовільно передають характерні риси гідрологічної мережі території. Відзначаючись високою морфологічною подібністю, змодельовані дані придатні для використання в якості достовірної основи, яка може бути істотно покращена в процесі мануального коригування та додаткової верифікації.

Без сумніву, дану оцінку не можна вважати остаточною і завершеною. Подальші перспективи оцінки придатності ЦМБ SRTM та ASTER пов'язані з аналізом передачі ієрархічної впорядкованості гідромережі (порядки за Штралером), виділенням меж водозбірних басейнів різних порядків, перевіркою результатів моделювання перерозподілу поверхневого стоку за даними польового знімання тощо. Принциповим моментом для отримання таких поглиблених оцінок є використання в якості верифікаційних даних не окремих елементів топооснови (відмітки висот, гідромережа, горизонталі тощо), а побудованої за даними топографічної карти масштабу 1:50 000 високоточної гідрологічно коректної ЦМР. Лише за умов використання такої ЦМР в якості вихідної основи для моделювання, можна забезпечити повну та об'єктивну співставність результатів.

Рецензент: член-кореспондент НАНУ, доктор географічних наук, професор М. Д. Гродзинський

Таблиця 2

Сумарна довжина водотоків території дослідження

Дані	РЗ, м	Сумарна довжина водотоків, м	Різниця, м	Різниця, % від довжини на топокарті
Топографічна карта	–	979 685,510	–	–
SRTM	50	1 103 141,164	+123 455,654	+12,60
ASTER	50	1 242 549,151	+262 863,641	+26,83
ASTER	30	1 111 885,349	+132 199.839	+13,49

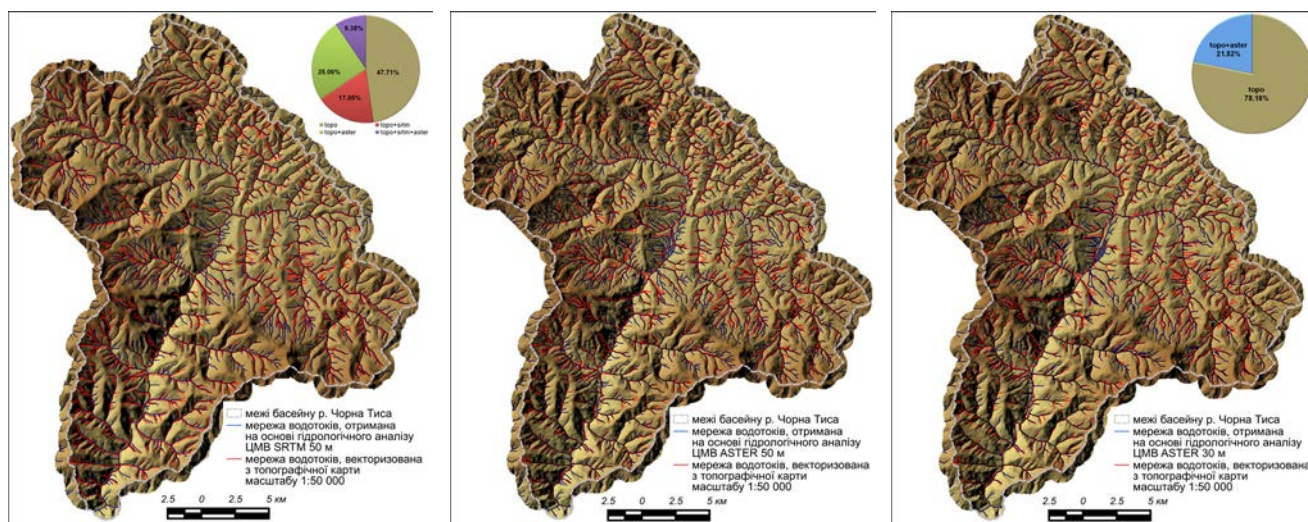


Рис. 1. Результати автоматизованого моделювання гідрологічної мережі на основі ЦМБ SRTM та ASTER та їх верифікації за даними топографічної карти масштабу 1 : 50 000

Література:

1. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія у 2-х т. / М. Д. Гродзинський — К.: ВПЦ «Київський університет», 2005. — Т.2 — С. 56-63.
2. Costa-Cabral M. C. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas / M. C. Costa-Cabral, J. Burges // *Water Resources Research*. — 1994. — 30(6). — pp.1681-1692.
3. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [Electronic resource]. — Access mode: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
4. Dragut L. Automated object-based classification of topography from SRTM data / L. Dragut, C. Eisank // *Geomorphology*. — 2012. — №141-142. — pp. 21-33.
5. Gopinath G. Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with Survey of India toposheet / G. Gopinath, T. V. Swetha, M. K. Ashitha // *Arabian Journal of Geosciences*. — 2013. — pp. 1-8.
6. Gruber S. Land-surface parameters and objects in hydrology / S. Gruber, S. Peckham // *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science* [Eds: Hengl T., Reuter H. I.]. — 2008. — vol. 33. — pp. 171-194.
7. Guth P. L. Geomorphometry from SRTM : comparison to NED / P.L. Guth // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. — 2006. — vol. 72, №3. — pp. 269-277.
8. Hengl T. Finding the right pixel size/ T. Hengl // *Computers & Geosciences*. — 2006. — vol. 32, №9. — pp. 1283-1298.
9. Hengl T. How accurate and usable is GDEM? A statistical assessment of GDEM using LiDAR data [Electronic resource] / T. Hengl, H. I. Reuter // *Geomorphometry 2011* [Eds.: Hengl T., Evans I.S., Wilson J.P, Gould. M.]. — Redlands, CA, 2011. — pp. 45-48. — Access mode: <http://geomorphometry.org/system/files/HenglReuter2011geomorphometry.pdf>
10. Jarvis A. Practical use of SRTM data in the tropics — Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data / A. Jarvis, J. Rubiano, A. Nelson, A. Farrow, M. Mulligan — Cali, Colombia. — 2004. — №198. — 32 p.
11. Karwel A. K. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland / A.K. Karwel, I. Ewiak // *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. — Beijing, 2008. — Vol. XXXVII, Part B7. — pp. 169-172.
12. Planchon O. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models / O. Planchon, F. Darboux // *Catena*. — 2002. — vol. 46 №2-3. — pp. 159-176.
13. QGIS Development Team, 2014. QGIS Geographic Information System / Open Source Geospatial Foundation Project [Electronic resource]. — Access mode: <http://qgis.org>
14. SAGA GIS Development Team, 2014. SAGA — System for Automated Geoscientific Analyses / SAGA User Group Association [Electronic resource]. — Access mode: <http://saga-gis.org>
15. Stevenson J. A. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm/ J. A. Stevenson, X. Sun, N.C. Mitchell // *Geomorphology*. — 2010. — vol. 114 №3. — pp. 238-252.

УДК 911.3:164:004.4+911.9

Н. П. Сергеева, М. І. Сеньків

Львівський національний університет імені Івана Франка

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ЛОГІСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Визначені головні напрямки застосування ГІС у логістичних дослідженнях, зокрема в геологістичі. Обґрунтовані можливості моделювання, аналізу та відображення геологістичної ситуації регіону функціональними засобами поширених у суспільно-географічних дослідженнях ГІС-пакетів (ArcGIS, MapInfo Professional, ГІС «Карта 2011», Quantum GIS).

Ключові слова: географічні інформаційні системи, геологістична ситуація, територіально-логістична мережа, логістична операція, суб'єкт логістики, кривизна автотранспортного простору.

Н. П. Сергеева, М. И. Сенькив.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.

Определены основные направления применения ГИС в логистических исследованиях, в частности, в геологистике. Обоснованы возможности моделирования, анализа и отображения геологистической ситуации региона функциональными средствами распространенных в общественно-географических исследованиях ГИС-пакетов (ArcGIS, MapInfo Professional, ГИС «Карта 2011», Quantum GIS).

Ключевые слова: географические информационные системы, геологистическая ситуация, территориально-логистическая сеть, логистическая операция, субъект логистики, кривизна автотранспортного пространства.