

Проблеми створення, георектифікації та використання крупномасштабних цифрових моделей рельєфу

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці
e-mail: cherlinka@gmail.com

Анотація. Розглянуто актуальні проблеми створення, георектифікації та використання крупномасштабних цифрових моделей рельєфу в реаліях України. На основі аналізу різномасштабних ЦМР локального ареалу урболандшафту м. Чернівці показано, що використання для детальних досліджень кроків моделі 10-25 м і вище супроводжується великими похибками. Тому для вирішення зловбодених проблем галузі доцільно використовувати ЦМР з дозволом не більше 5 м, а в ряді завдань – 1 м (і точніше), інакше результати можуть бути істотно відмінними, менш репрезентативними та спотвореними.

Ключові слова: урболандшафт, цифрова модель рельєфу (ЦМР), проблема

Вступ

Кожна наука в процесі свого розвитку виходить на певні рубежі, на котрих відбувається узагальнення зробленого, переосмислення поточних завдань та планування наступного вектору розвитку. Початок 21 століття можна охарактеризувати як власне одну з таких віх. Через бурхливий розвиток сучасних інформаційних технологій, які дозволяють опрацьовувати величезні обсяги інформації та зробити прорив у переході від традиційної двомірної географії до тримірної просторової. Вважаючи пріоритетом географії системне дослідження природи, населення та господарства; моніторинг взаємодії між соціосферою та геосферою для дотримання раціональної територіальної організації суспільства та природокористування і екологічно безпечного розвитку, то створення максимально наближеної до дійсності цифрової моделі рельєфу (ЦМР) може бути саме тим кроком, який створить передумови для успішного розвитку географічної науки і розв'язку її програмних завдань. При цьому ЦМР варто розглядати не тільки як «річ в собі», а власне як базис для інноваційних підходів, найбільш пріоритетними з яких є різні види моделювання. Якісна тримірна модель рельєфу є передумовою для побудови 4d моделей, вищої сходинки у дослідження процесів та явищ в динаміці, тобто у хронологічній ретроспективі.

Нам близьке розуміння ЦМР як особливого виду тримірних математичних моделей, які є відображенням «рельєфу» як реальних, так і абстрактних геополів (поверхонь) і які мають певну форму представлення вихідних даних та спосіб їх структурного опису. Це дозволяє відтворювати об'єкт шляхом інтерполяції, апроксимації чи екстраполяції [1]. На практиці під ЦМР розуміють, як правило, цифрові моделі висот, які створюються з використанням обмеженого набору вихідних картографічних даних про рельєф [2, 3], або ЦМР отримані за допомогою даних дистанційного зондування [4-8]. Для конкретизації об'єкту дослідження варто розглянути (не претендуючи на завершений огляд) множину основних класифікацій ЦМР, яка існує на сьогодні. Ряд авторів поділяє існуючі ЦМР на дві великі групи: растрові (регулярні) та векторні (нерегулярні) [9, 10]. Є також ряд публікацій, де ці групи ЦМР або набори даних для їх створення більш деталізовані [11-13]. Для практики ми послуговуємося першою із згаданих класифікацій, визначальним в якій є те, що значення висот повинні бути доступні для всієї області досліджень, а будь-який тип ЦМР може бути перетворений в точковий (растровий) набір даних (x, y, z).

Українські реалії, попри зростаючу роль дистанційного зондування Землі та фотограмметричних способів створення ЦМР в світі, передбачають основне джерело для моделювання рельєфу крупномасштабні топографічні карти. Детальний розгляд останніх виявляє ряд проблем, які вимагають підвищеної уваги. Це важливо з огляду на те, що при побудові ЦМР для великих територій використовуються не власне дрібномасштабні карти, а такі після процесу генералізації крупномасштабних ЦМР. Існування чи розробка крупномасштабних ЦМР для території України на сьогодні не декларовані, тому питання, які піднімаються нами, вимагають детального розгляду.

Серед першочергових, на нашу думку, проблем:

1) зміна форми комірок растру ЦМР при зміні проєкцій. Наприклад, при виборі білінійної інтерполяції, як основного методу передискретизації континуальних даних (поля висот), нові значення визначаються на основі середньозваженої відстані від центрів 4-х вихідних комірок, що призводить до згладжування даних. Це зумовлює зміни кінцевих результатів геостатистичних аналізів і моделювання, зокрема морфометричного та гідрологічного;

2) вибір системи координат для використання в якості спільного знаменника. Реально використовувані системи координат в Україні (місцеві різних видів, СК-42, СК-63) при офіційно затвердженій для використання УСК-2000 [14] за умови засекреченості ключів та параметрів переходу між ними [15, 16], або доступу широкого загалу до даних пониженої точності призводить до інших проблем при створенні ЦМР для різних територій. Головна з них полягає найперше в тому, що системи координат УСК-2000, СК-42 і утворена від останньої умовна система координат СК-63, а також регіональні (місцеві) системи мають локальні спотворення, зумовлені методами їх створення і технологією врівноваження результатів лінійно-кутових вимірювань у мережі [17].

Оскільки чинна державна геодезична система координат УСК-2000 відповідає всім сучасним вимогам щодо точності, доцільно, на наше переконання, всі роботи зі створення ЦМР проводити саме в ній. Тоді модельована загальнонаціональна ЦМР України певного масштабу може безперешкодно (без додаткових трансформацій) доповнюватися локальними високоточними ЦМР, створеними для конкретних цілей.

Дані перерахунку координат для точної прив'язки топографічної основи необхідно зробити загальновідомими через те, що підібрати дослідним шляхом параметри переходу між СК-42, СК-63, місцевими системами координат (МСК) до УСК-2000 неможливо. Останнє пов'язано не тільки з переносом початку координат та відносним розворотом їх осей, але й з масштабною трансформацією координат, яка виникає при переході на ненульову висоту поверхні відносно МСК і на площину проекції Гаусса-Крюгера, з новим положенням осьового меридіану через зсув відносно осьового меридіану стандартної шестиградусної зони тощо;

3) обмеженість доступу (секретність) до даних. Топографічні дані крупних масштабів вважаються секретними/ДСК [18]. Загальновідомо, що сучасні засоби ДЗЗ дозволяють отримувати високоточну координатну інформацію та дані про рельєф для зацікавлених осіб зі значно меншими похибками, аніж на існуючій картографічній продукції. Тому «секретність» картографічного матеріалу апіорі видається «річчю в собі». Апіорі зрозуміло, що є сенс повного зняття різноманітних грифів, які тим більше, часто встановлюються з порушеннями чинного законодавства [19]. Для наукових досліджень, в. т.ч. ґрунтознавчих, часто необхідні карти крупних масштабів (до 1:2000 включно). Виходячи з того, що дані про рельєф секретні чи ДСК [18], то при наявності згенерованих високоточних ЦМР, питання використання отриманих результатів науковою спільнотою чи в прикладному аспекті стає проблемним.

4) доступ до актуальних топографічних карт. Попри існуючий «Порядок загальнодержавного ...» [20] та попередні аналогічні акти, карти часто не актуалізовані, а картографічний матеріал 30-40-річної давності (для окремих регіонів ще більш за давнини) отримати дуже проблемно. Це не тільки дивує, оскільки значна частина такого роду карт наявна у СК-63, яка була відмінена Постановою ЦК КПРС і Ради Міністрів СРСР від 25 березня 1987 року за №378-85, але й унеможливує актуальні дослідження. Отримати легальним шляхом карти крупніших масштабів, зокрема і для наукових цілей, практично неможливо;

5) георектифікація топографічних карт, яка необхідна постійно, а особливо у випадках вітхого стану топографічного матеріалу. Практично завжди виявляються нерівномірні спотворення (до кількох мм на лист) лінійних та площинних розмірів листів карт внаслідок умов зберігання (усихання/набування) та сканування. Це вимагає прив'язки за максимально можливою кількістю точок (координати кутів рамки карти, перетин ліній координатної сітки та вихід їх на рамку). Використання набору таких точок та прогресивних алгоритмів трансформації (типу «rubber sheet») дозволяє мати прив'язані карти з максимально наближеними до вихідних геометричними параметрами;

6) дигіталізація топографічних карт. Використання сканованого матеріалу з роздільною здатністю не менше 600 dpi і 8bit на канал та застосування адекватного програмного забезпечення з напів- чи автоматичним режимом оцифрування дозволяє векторизувати горизонталі з високою точністю. Використання таким чином прив'язаної та дигіталізованої топографічної основи є передумовою отримання ЦМР необхідного типу з максимально можливою точністю.

Мета – на основі аналізу існуючих проблем, які виникають при створенні, георектифікації та використанні крупномасштабних цифрових моделей рельєфу, на прикладі локального фрагменту ЦМР урболандшафту м. Чернівці показати відмінності між моделями, створеними на основі тотожних частин різномасштабних карт (М 1:2000, М 1:10000 та М 1:25000). При цьому доцільно показати відмінності за висотами, крутизною і орієнтацією схилів тощо залежно від масштабу.

Об'єкт досліджень – фрагмент урболандшафту м.Чернівці (рис. 1); предмет дослідження – цифрова модель рельєфу та похідні від неї картографічні матеріали.

Тестовий полігон приурочений до складних геоморфологічних умов, а його розміри складають 3390x3347 м, площа 13,35 км².

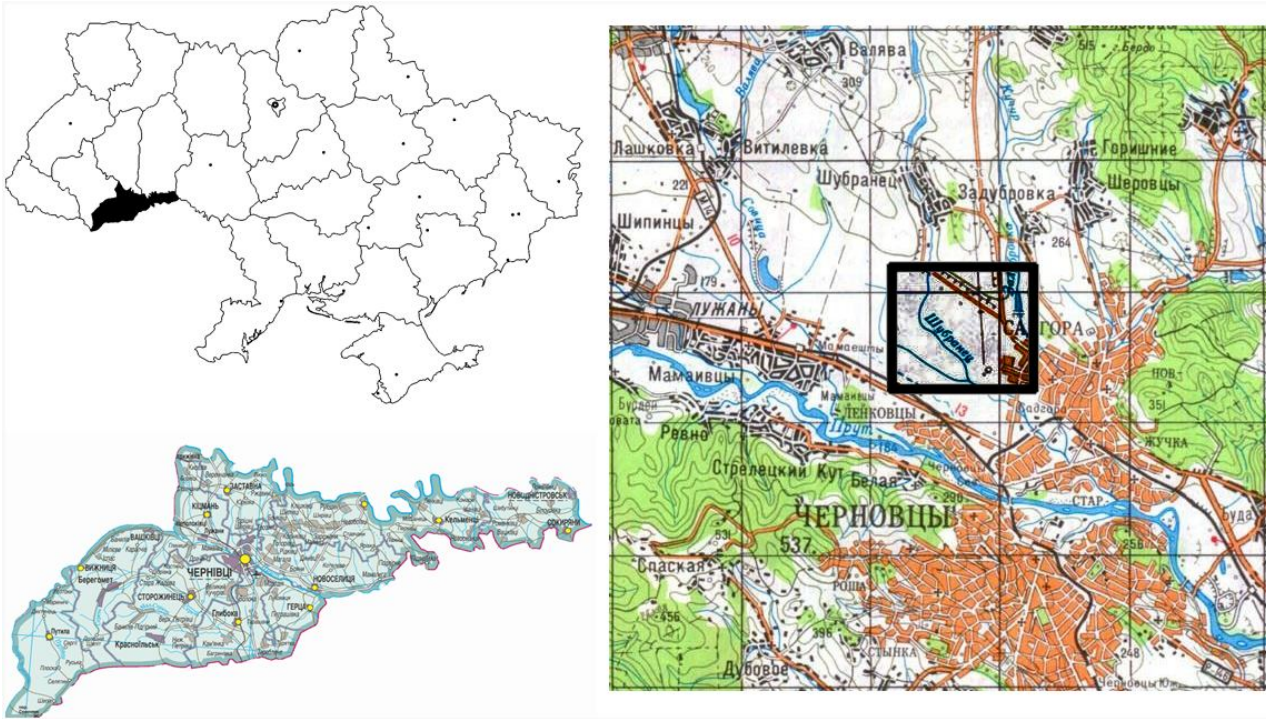


Рис. 1. Розташування району досліджень

Матеріали і методи

Дослідження проводилися з використанням інструментальних засобів ГІС GRASS 6.4.3 [21, 22] у середовищі Debian GNU Linux 7.0 [23] із дотриманням умов Загальної громадської ліцензії GNU GPL [24] щодо вживання цих програмних засобів. Для оцифрування картографічних даних застосували векторизатор Easy Trace 7.99 [25]. Для генерації ЦМР обрали метод регуляризованих напружених сплайнів (Regularized Spline with Tension - RST), який обчислює значення висот у вузлах сітки за допомогою функції, що моделює тонку гнучку пластину, яка проходить через/або близько до точок вихідних даних [26-28]. При цьому застосовано наступні параметри: напруженість сплайну $\varphi=30$ та згладженість $\omega=0,1$.

Результати та обговорення

Аналіз векторних наборів даних (рис. 2), показує, що картооснови масштабу М 1:2000 (а) та М 1:10000 (б) є близькі за своїми візуальними характеристиками. Дані найкрупнішого масштабу більш насичені напівгоризонталлями і, як показують дані польових обстежень, загалом відповідають нативному рельєфу. Картооснова М 1:25000 є надмірно генералізованою, схематичною, тому внаслідок цього відхиляється від реальної геоморфологічної ситуації.

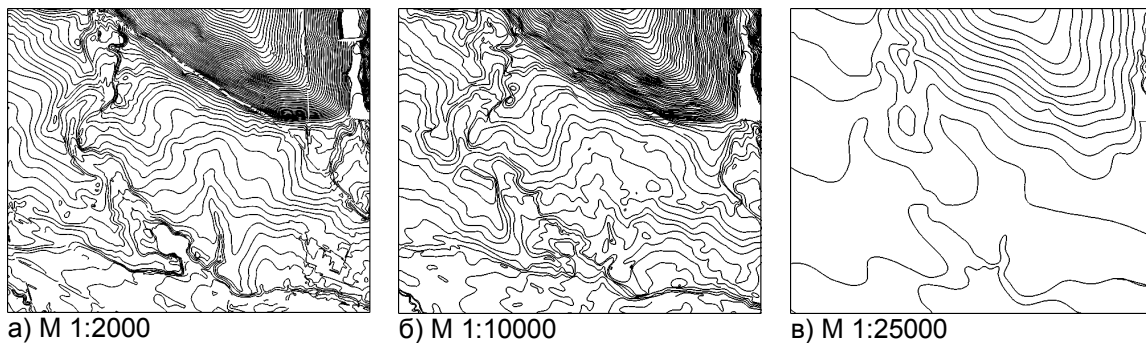


Рис. 2. Різномасштабні контурні набори даних локального фрагменту урболандшафту м.Чернівці

Статистичний аналіз векторних наборів даних (табл. 1) свідчить про спорідненість як висотних даних, так і похідних характеристик, що апріорі передбачається, оскільки всі вони належать до однієї генеральної сукупності. Проте просторове відхилення векторних об'єктів при генерації ЦМР призводить до досить диференційованих результатів. Це ставить під сумнів використання окремих

масштабів у практичній діяльності. Зокрема досить дивним є значне неспівпадіння розташування горизонталей масштабів М 1:2000 та М 1:10000 у плані, при практично тотожній вертикальній роздільній здатності. Прогнозувалося, що навіть з врахуванням похибки у плановій точності карт цих масштабів, співпадіння контурів мало б бути вищим. Відповідно до цих вихідних умов, результати моделювання показують наростаючі відмінності у кінцевих ЦМР (рис. 3). Виходячи з найвищої точності картооснови М 1:2000 у плані та по висоті, отриману на її базі ЦМР доцільно вважати еталонною, яку надалі ми використовуватимемо як основу для порівняння.

Таблиця 1

Характеристика вихідних та генерованих наборів даних

Показники	М 1:2000		М 1:10000		М 1:25000	
	вектор	растр	Вектор	растр	вектор	растр
К-сть векторних об'єктів	383	-	169	-	26	-
Загальна довжина векторних об'єктів на фрагменті, км	302,42	-	284,96	-	50,89	-
Min-max, м	166-226	165,8-226,1	168-226	165,8-226,0	167,5-225	166,83-225,3
Розмах варіації, м	60	60,3	58	59,2	57,5	58,5
Середнє, м	181,73	177,70	183,22	177,74	187,31	178,116
Дисперсія	199,36	147,22	229,28	141,07	249,00	155,39
Стандартне відхилення	14,12	12,13	15,14	11,88	15,78	12,47
Коеф. варіації, %	7,76	6,83	8,26	6,68	8,42	6,99
1-й кuartіль	171	170,98	172	170,98	177,5	170,7
Медіана	177	173,48	178	173,45	180	173,05
3-й кuartіль	187	177,56	189	177,64	195	178,33
90 перцентль	202	196,55	209	196,14	210	197,89

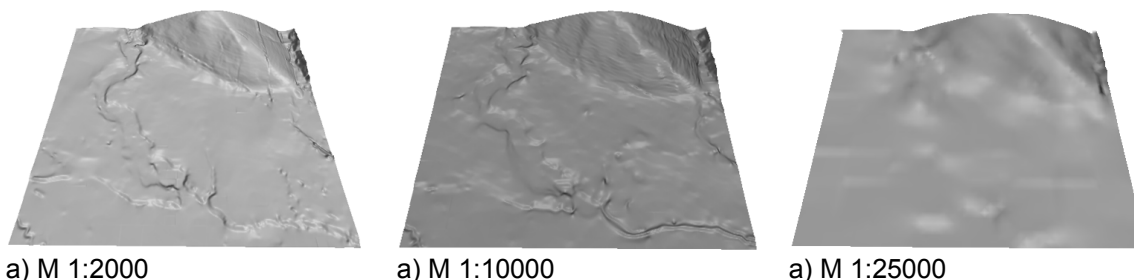


Рис. 3. Набір ЦМР локального фрагменту урболандшафту м.Чернівці різних масштабів

Застосувавши елементи растрової математики для дослідження різниці висот Δh між еталонною ЦМР₂₀₀₀ і ЦМР₁₀₀₀₀ та ЦМР₂₅₀₀₀ відповідно (рис. 4а, 4б), отримали результати, які показують значні відмінності у висотних даних. Оскільки основна частина похідного картографічного матеріалу отримується як певна функція від рельєфу (крутизна, орієнтація схилів, тангенціальна, планова та інші кривизни тощо), то результати аналізу ЦМР, відмінної від еталонної, будуть значно відрізнятися. Наростання похибок спостерігається із підвищенням ступеня складності аналізу. Так, наприклад, тангенціальна кривизна (2-га похідна від функції рельєфу) уже на карті М 1:10000 дає істотно диференційованіший відносно еталонної результат.

Аналогічна ситуація з картограмою крутизни схилів. Різниця за крутизною схилів Δs між еталонною ЦМР₂₀₀₀ і ЦМР₁₀₀₀₀ та ЦМР₂₅₀₀₀ відповідно, відображена на рис. 5. Для наочності ця різниця збільшена у 100 разів, що дозволило спостерігати чітку тенденцію до значної виположеності за крутизною. Отже, у ряді галузей, зокрема зокрема картуванні ґрунтів, де такі дані використовуються, будуть отримуватися неточні результати, які впливатимуть на всі наступні характеристики. Тобто накопичувальна тенденція до випадання тонких (а далі середніх) деталей рельєфу в ЦМР, отриманих на картах дрібніших масштабів або при застосуванні великих кроків моделі призводить до ситуації, коли узагальнення настільки велике, що використовувати такі дані можна буде тільки в оглядових цілях.

Перевірка Н₀-гіпотези на базі висотної інформації досліджуваного ряду ЦМР показує, що вони належать одній генеральній сукупності. Проте, як показано вище, це не може бути підставою для вибору дрібномасштабнішого картографічного матеріалу для досліджень, оскільки всі похідні моделі міститимуть неприпустимі помилки.

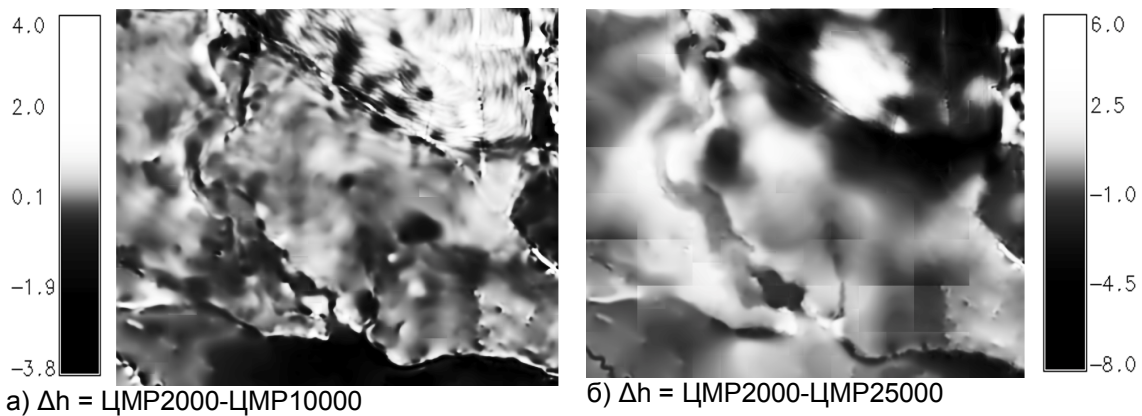


Рис. 4. Карты різниць висот між еталонною (М 1:2000) та ЦМР порівняння локального фрагменту урболандшафту м.Чернівці

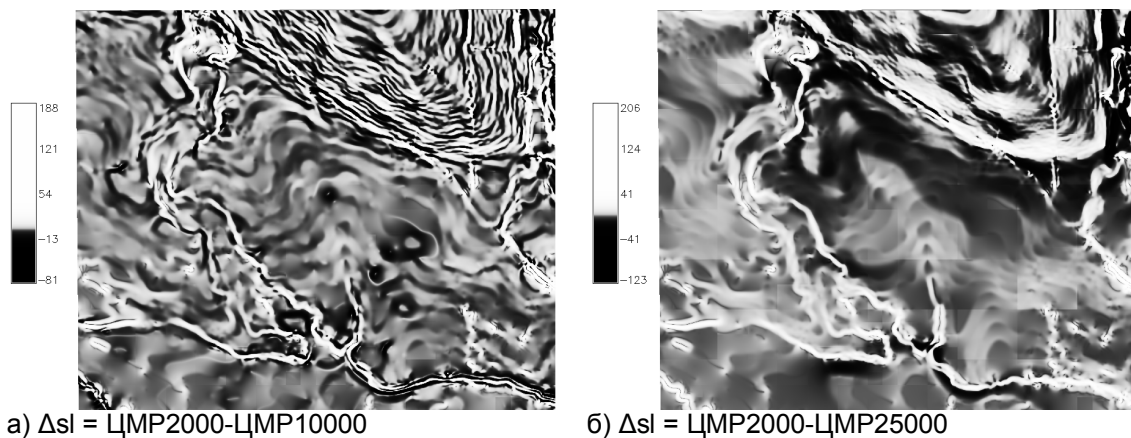


Рис. 5. Карты різниць крутизни схилів між еталонною (М 1:2000) та ЦМР порівняння локального фрагменту урболандшафту м.Чернівці

Отже, отримані результати показують, що використання цифрових моделей рельєфу з кроком 10-25 м і вище для детальних досліджень супроводжуватиметься істотними, часто недопустимими для практики похибками. Для вирішення найактуальніших проблем як наукових, так і прикладних доцільно використовувати ЦМР з дозволом не більше 5 м, а в ряді завдань – 1 м (і точніше), інакше можливі істотно відмінні та менш репрезентативні результати.

Висновки

Отже, вирішення актуальних проблем сучасної науки потребує ЦМР з дозволом не більше 5 м, а для низки наукових завдань – 1 м. Це чітко виявляється при аналізі різномасштабних ЦМР локального фрагменту урболандшафту м.Чернівці, де показано, що використання кроків моделі 10-25 м і вище для детальних досліджень призводить до великих похибок.

Література

1. Новаковский Б.А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б.А.Новаковский, С.В.Прасолов, А.И.Прасолова. – М.: Научный мир, 2003. – 64 с.
2. Сербенюк С.Н. Программы МАГ для создания цифровых моделей геополей / С.Н.Сербенюк, С.М.Кошель, О.Р.Мусин // Геодезия и картография. – 1991. – № 4. – С.44–46.
3. Hengl T. Mathematical and Digital Models of the Land Surface / T.Hengl, I.S.Evans // *Geomorphometry: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science* (eds T.Hengl, H.I.Reuter). – Vol. 33. – Elsevier, 2009. – pp. 31-64.
4. National Geophysical Data Center [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO2/>
5. Earth Resources Observation and Science [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info
6. Danielson J.J., Gesch D.B. / Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010) / J.J.Danielson, D.B.Gesch. – Open-file report. - №2011–1073. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2011. – 34 p. – Режим доступу: <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/pdf/of2011-1073.pdf>

7. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
8. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lpdaac.usgs.gov/content/view/full/11033>
9. Weibel R. Digital Terrain Modeling / R.Weibel, M.Heller // Geographical Information Systems: Principles and Applications (eds. D.J.Maguire, M.F.Goodchild, D.W.Rhind). – London: Longman, 1991. – pp. 269-297.
10. Li J. A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists / J.Li, A.D.Heap. – Canberra: Geoscience Australia, 2008. – Record 23. – 137 pp.
11. Пьюкер Т. Влияние различных математических подходов на изображение рельефа дна океана / Т.Пьюкер // Картография. – 1988. – №3. – С. 35-38.
12. Лисицкий Д. В. Основные принципы цифрового картографирования местности / Д.В.Лисицкий. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
13. Мусин О.Р. Цифровые модели рельефа континуальных и дискретных географических полей / О.Р.Мусин, С.Н.Сербенюк // Банки географических данных для тематического картографирования: сб. ст. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – С.156-170.
14. Про деякі питання застосування геодезичної системи координат // Постанова КМУ від 22.09.2004, №1259 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF>
15. Тарапатов М.М. Державна референтна система координат УСК-2000 та її зв'язок із іншими світовими і європейськими системами координат / М.М.Тарапатов // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. Зб. наук. пр. – 2007. – №7. – С.174-179.
16. Герасимов Г.П. Золотой ключик: как стать (или не стать) Буратино и решить проблему перехода от СК-42 и WGS-84 к СК-63 и местным системам координат / Г.П.Герасимов // Геопрофиль. – №3. – 2010. – с. 24-31.
17. Кубах С. Вплив стану геодезичної основи на точність визначення геометричних параметрів земельних ділянок / С.Кубах // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. – Випуск 73. – 2010. – С.69-72.
18. Про введення в дію Переліку відомостей, які містять службову інформацію // Наказ Держземагентства України від 25.10.2012, №525 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://land.gov.ua/za-napriamkamy-diialnosti/publicna-informatsiia-zakonodavche-zabezpechennia/99352-nakaz-derchzemaagentstva-ukrayuny-vid-25-10-2012-525-pro-vvedennya-v-diua-pereliku-vidomostey-yaki-mistyat-sluchbovu-informaciua.html>
19. Матвійчук О. Гриф«ДСК» і його застосування vs право на інформацію / О.Матвійчук // Доступ громадськості до генеральних планів міських населених пунктів України: Зб. матер. за результ. проекту «Через доступ до генеральних планів – до містобудування без корупції». Східноукраїнський центр громадських ініціатив. За заг. ред. В.В.Щербаченка. – Луганськ: СГД Резнік, 2011. – С.218-223.
20. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування // Постанова КМУ від 4 вересня 2013 р., №661 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF>
21. Geographic Resources Analysis Support System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://grass.fbk.eu/>
22. Черлінка В.Р. Особливості та актуальність використання системи підтримки аналізу географічних ресурсів (GRASS) / В.Р.Черлінка, Ю.М.Дмитрук // Ученые записки Таврийского национального университета им. В.И.Вернадского. – Серия: География. – 2011. – Т.24 (63). – №1. – С. 3-7.
23. Debian GNU Linux – the universal operating system [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.debian.org/index.en.html>
24. GNU GENERAL PUBLIC LICENSE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>
25. Easy Trace 7.99 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.easytrace.com/site2/program/et799_ru
26. Mitašova H. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation / H.Mitašova, L.Mitaš // Mathematical Geology. – 1993. – Vol. 25. – №.6. – pp. 641-655.
27. Hofierka J. Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension / J.Hofierka, J.Parajka, H.Mitasova, L.Mitas // Transactions in GIS. – 2002. – №6. – pp. 135-150.
28. Hofierka J. Interpolation of radioactivity data using regularized spline with tension / J.Hofierka // Applied GIS. – 2005. – Vol. 1. – №2. – pp. 16/01-16/13.

Аннотация В. Р. Черлінка, Ю. М. Дмитрук **Проблемы создания, георектификации и использования крупномасштабных цифровых моделей рельефа.** Рассмотрены актуальные проблемы создания, георектификации и использования крупномасштабных цифровых моделей рельефа в реалиях Украины. На основе анализа разномасштабных ЦМР локального ареала урболандшафта г.Черновцы показано, что использование для детальных исследований шагов модели 10-25 м и выше сопровождается большими погрешностями. Поэтому для решения злободневных проблем отрасли целесообразно использовать ЦМР с разрешением не более 5 м, а в ряде задач - 1 м (и точнее), иначе результаты могут быть существенно отличными, менее репрезентативными и искаженными.

Ключевые слова: урболандшафт, цифровая модель рельефа (ЦМР), проблема

Abstract. V. R. Cherlinka, Y. M. Dmytruk **Problem in creating, georectifications and using of large scale digital elevation models.** Were considering the urgent problems of creation, georectification and use of large-scale digital elevation models in the realities of Ukraine. Based on the analysis of different scale DEM local area urbolandscape of Chernivtsi has been shown that the use of detailed research model steps 10-25 m and up accompanied by large errors. Therefore, to solve urgent problems of the industry it is advisable to use a DEM with a resolution of 5 meters, and in some tasks - 1 m (and more accurate), or the results may be significantly different, less representative and distorted.

Keywords: urbolandscape, digital elevation model (DEM), the problem.

Поступила в редакцию 18.02.2014 г.