

Information systems modeling

УДК 528.855

doi: 10.20998/2522-9052.2020.4.02

С. М. Андреев, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ГІПСОМЕТРИЧНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Анотація. Предметом дослідження є розроблення методики побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). **Об'єктом дослідження** є процес оперативної та достовірної візуалізації рельєфу місцевості за даними ДЗЗ для забезпечення урядових, господарчих та природозахисних закладів актуальними тематичними картами, що відображають поточний стан території держави. **Метою роботи** є підвищення інформативності візуалізації рельєфу земної поверхні за рахунок забезпечення об'ємності, наочності та читаності картографічних зображень, а також виразності та гармонійності оформлення гіпсометричних карт. **Висновки.** На підставі проведеного аналізу методологічних основ візуалізації рельєфу місцевості встановлено надзвичайну важливість цього елемента змісту географічних карт, адже саме рельєф визначає характер та розміщення компонентів ландшафту і тісно пов'язаний з усіма складовими загальногеографічних і тематичних карт. Досліджено історико-технологічні аспекти картографування рельєфу, класифікацію методів і способів його зображення, а також основні чинники впливу на вибір методів і способів відтворення рельєфу в залежності від типу створюваної карти, її масштабу, проєкції, призначення, способу використання та форми представлення, а також кваліфікаційних характеристик розробників картографічних зображень. Окреслено основні вимоги до зображення рельєфу з урахуванням необхідності збереження характерного зовнішнього вигляду ландшафту, генетичних відмінностей його форм, регіональних особливостей конкретних районів і, врешті, естетичної привабливості отриманих картографічних моделей. Проаналізовано основні властивості гіпсометричних шкал для моделювання рельєфу, а також сучасні вимоги до них та принципи їх побудови з урахуванням необхідності дотримання загальної колірної гармонії та художньої колірної гамми. З урахуванням принципів створення гіпсометричних шкал розроблено методику побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними дистанційного зондування Землі. Методика передбачає безкоштовне отримання даних радарної інтерферометричної зйомки SRTM і за рахунок їх специфічної обробки з використанням програмного пакету ArcGIS побудову гіпсометричних картографічних моделей рельєфу у межах 85% поверхні Землі із заданими розрізювальною здатністю на місцевості та розрізненням і колірною пластикою гіпсометричних шкал. При цьому забезпечується необхідна достовірність, точність, оперативність та повнота тривимірного сприйняття змісту географічних карт рельєфу місцевості, що цікавить.

Ключові слова: геоінформаційні системи; картографічні моделі; гіпсометричні шкали; методи і способи візуалізації рельєфу.

Вступ

Серед елементів змісту географічних карт рельєф є одним з найважливіших. Він у значному ступені визначає характер та розміщення компонентів ландшафту. До того ж рельєф пов'язаний з іншими елементами змісту загальногеографічних і тематичних карт. Геоінформаційні технології явилися суттєвим кроком вперед у галузі створення географічних карт, проте іноді вони не цілком здатні задовольняти сучасні вимоги до їх змістового оформлення. Географічні карти використовуються безпосередньо людиною з певними індивідуальними фізіологією, психологією та професійним досвідом. Тому слід враховувати параметри, що забезпечують досягнення необхідної достовірності, точності та повноти змісту: наочність, читаність, виразність, гармонійність оформлення [1-7]. Отже, останніми роками у зв'язку з впровадженням у картографію ГІС-технологій оформлення географічних карт виконується за використанням світлотіньового зображення рельєфу в поєднанні з гіпсометричним забарвленням [8]. При цьому ведуться активні роботи щодо автоматизації та об'єктивізації процесів аналітичної відмовки рельєфу, а також включення відомостей про рельєф у бази даних ГІС (геоінформаційних систем) різноманітного призначення.

У практичному використанні ГІС першорядне значення набуває грамотна візуалізація інформації, яка багато в чому визначає цінність та інформативність карт [9-11]. При зображенні рельєфу та його сприйнятті важливі збереження характерного зовнішнього вигляду, генетичних відмінностей форм, регіональних особливостей конкретних районів і естетична привабливість. Це досягається у великій мірі оформленням карти, неформальним застосуванням образотворчих засобів, що враховує комп'ютерні технології та класичний досвід оформлення карт. У даний час зазначений напрям входить до числа пріоритетних і актуальних областей дослідження картографів [12-15]. Сучасні гіпсометричні карти утворюють міцну науково-технічну основу для розвитку тематичної картографії взагалі і карт природи особливо.

Методологічні основи візуалізації рельєфу місцевості

Історичні аспекти візуалізації рельєфу. Рельєф (фр. relief, від лат. relevo – піднімаю) — сукупність нерівностей суші, дна океанів і морів, різноманітних по контурах, розмірах, походженні та історії геологічного розвитку. Складається з позитивних (опуклих) і негативних (увігнутих) форм.

Різноманітність рельєфу Землі пояснюється взаємодією процесів, що впливають на формування земної кори. Причому одні з них створюють нерівності рельєфу, а інші — направлені на вирівнювання його. Внутрішні й зовнішні геологічні та гравітаційні сили, діючи постійно й одночасно, формують поверхню Землі (рис. 1).

Візуалізація рельєфу має задовольняти практичним потребам в інформаційному забезпеченні різноманітних областей науково-практичної діяльності людини (економіки, екології, туризму тощо) оглядовими дрібномасштабними картами, що характеризуються властивостями достовірності, наочності, легкого та доступного сприйняття, високим ступенем естетичної привабливості.

Під способом зображення рельєфу розуміють комплекс образотворчих засобів для відображення рельєфу на карті, що враховують існуючі на певний момент технології отримання та візуалізації інформації про поверхню Землі, а також задовольняють вимоги географічної відповідності.

Методом зображення рельєфу вважають сукупність способів, схожих по образотворчих засобах і результатам візуалізації.

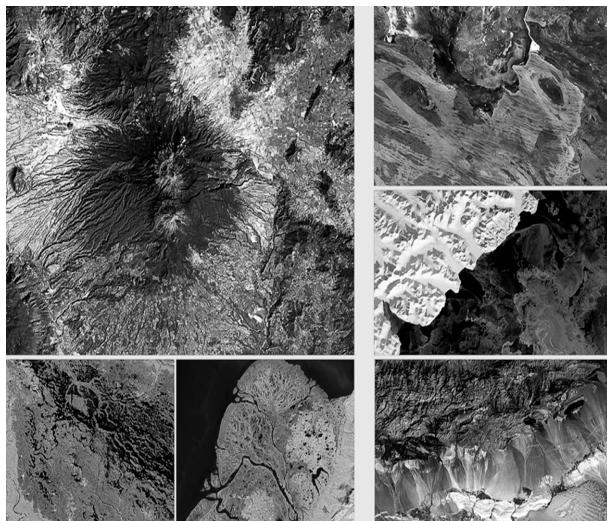


Рис. 1. Різноманітність рельєфу Землі

Вирішенням задачі підвищення наочності та виразності рельєфу на картах займалися багато учених-картографів впродовж декількох сторіч (рис. 2).

На відміну від більшості інших елементів змісту карти для рельєфу характерна тривимірність зображення, що вимагає досягнення зорового ефекту об'ємності.

Історико-технологічні аспекти застосування способів картографування рельєфу наочно передає структурна схема на рис. 3.

Класифікація методів і способів зображення рельєфу. У сучасних ГІС поверхні можна моделювати трьома способами: за допомогою ізоліній (ізогіпсів), у вигляді растру, за допомогою нерегулярної триангуляційної мережі.

Більшість сучасних карт створюються із застосуванням комбінованого підходу до зображення рельєфу. Яскравий приклад – живописний, або

ландшафтний, спосіб оформлення карт (рис. 4), при якому зображення рельєфу, виконується у градієнтній гіпсометричній шкалі з кольоровим відмиванням, доповнюється різними текстурами, що імітують ландшафт (дрібні форми рельєфу, рослинний покрив і ґрунти). Класифікацію методів і способів зображення рельєфу наведено на рис. 5.

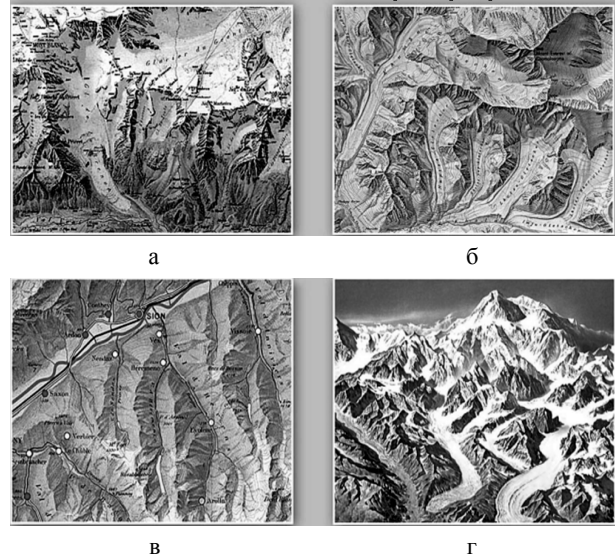


Рис. 2. Роботи видатних картографів щодо зображення рельєфу:

- а – Ксав'єр Імфельд. Карта Монблана (1896 р.);
- б – Едуард Імгоф. Карта Евереста (1962 р.);
- в – Герман Кюммерлі. Швейцарія (1896 р.);
- г – Генріх Цезар. Беранн (1886 р.)

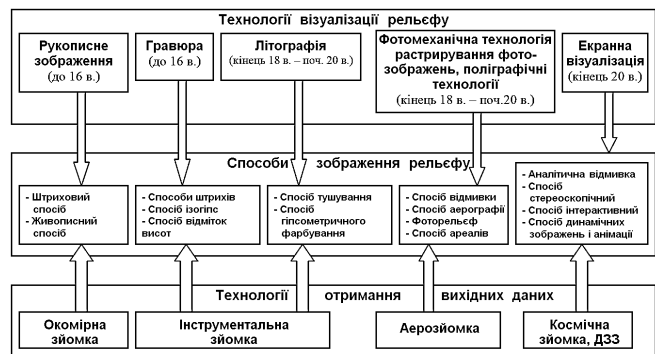


Рис. 3. Історико-технологічні аспекти картографування рельєфу

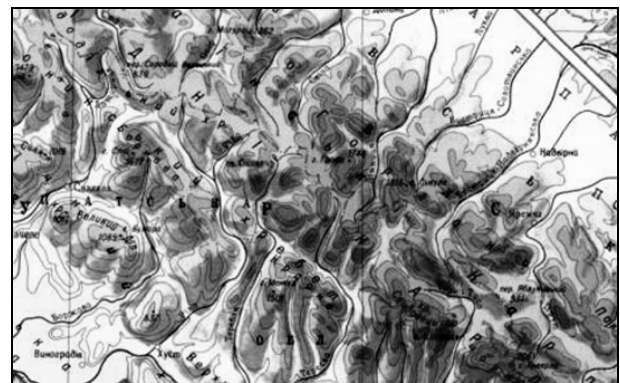


Рис. 4. Приклад реалізації живописного (ландшафтного) способу оформлення карт

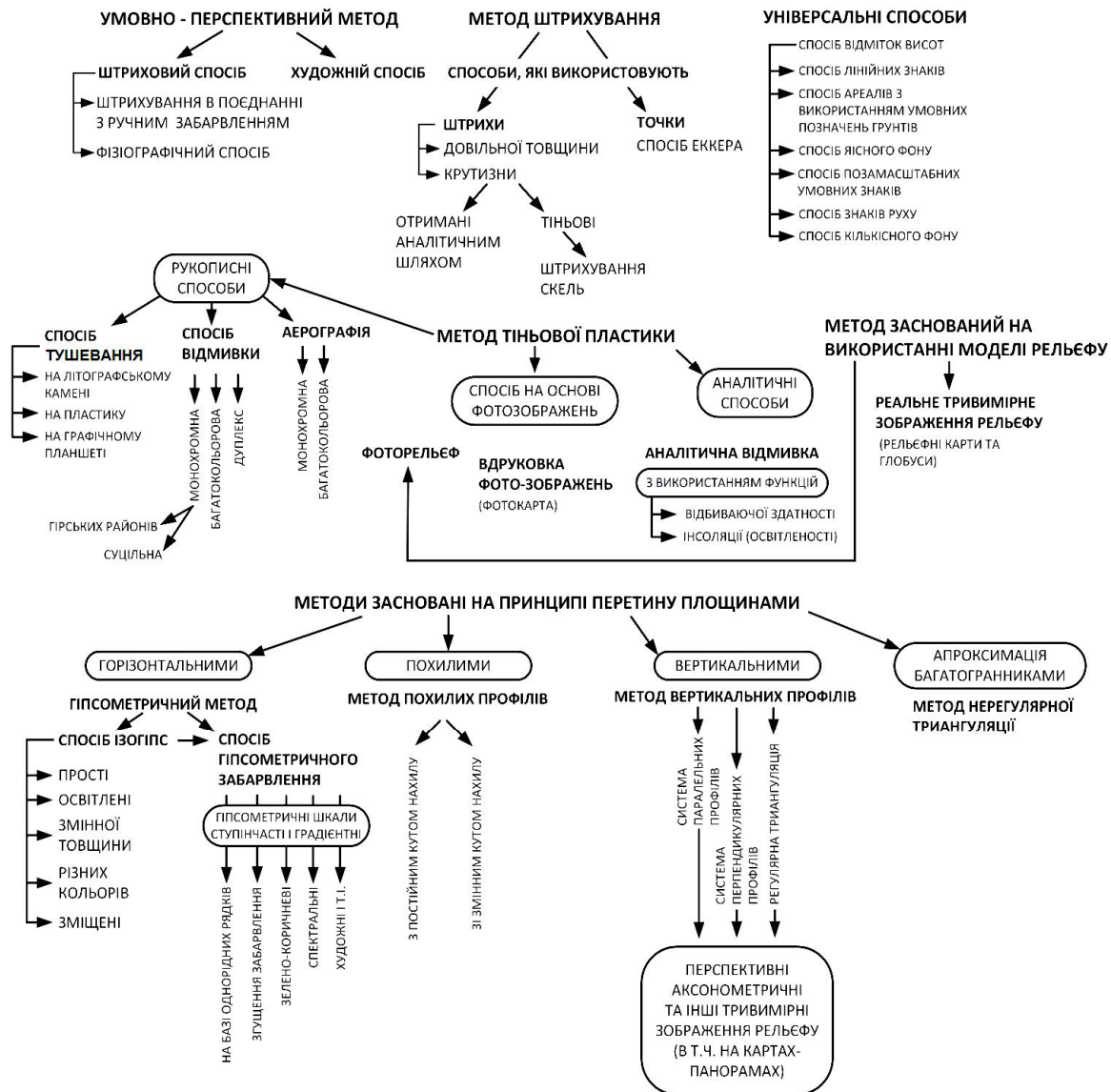


Рис. 5. Класифікація методів і способів зображення рельєфу

Чинники впливу на вибір методів і способів зображення рельєфу. Основними чинниками, що впливають на вибір методів і способів зображення рельєфу, є такі:

1) географічні — характеризують рельєф з позиції географічної правдоподібності на противагу «геометричному» підходу, який недооцінює необхідність поглибленого вивчення картографом об'єкту, що зображується;

2) картографічні — обумовлені типом створюваної карти, її масштабом, проекцією, змістом, призначенням, способом використання і формою представлення (в паперовому або електронному вигляді);

3) технологічні — визначають широкий спектр впливу технологій створення рельєфу на картографічне зображення;

4) кваліфікаційні — обумовлені науковим потенціалом та досвідом фахівців-виконавців, їх творчими здібностями, живописною та графічною майстерністю;

5) психофізіологічні та пізнавальні — базуються на законах зорового сприйняття (Бугера-Вебера,

Вебера-Фехнера), визначаються фізіологією людського зору та психофізичними особливостями сприйняття графічної інформації: кольори, форми і простори, порогова чутливість зору, цілісність і селективність сприйняття графічної інформації, зниження чутливості очних аналізаторів при розгляді малих площ, колірна пластика тощо.

Таким чином, вибір методу зображення рельєфу як сукупності образотворчих засобів обумовлений, в першу чергу, картографічними і психофізіологічними чинниками, тоді як вибір способу визначається технологічними чинниками і кваліфікацією картографа, оскільки спосіб передбачає урахування технології отримання, візуалізації та відтворення геоінформації. При цьому географічні чинники важливо враховувати незалежно від вибраного методу і способу картографування рельєфу.

При зображенні рельєфу і його сприйнятті важливі не тільки збереження характерного зовнішнього вигляду, генетичних відмінностей форм, регіональних особливостей конкретних районів, але й естетична привабливість. Це досягається у великій мірі

оформленням карти, неформальним застосуванням образотворчих засобів, що враховує комп'ютерні технології і класичний досвід оформлення карт.

Основні вимоги до зображення рельєфу такі:

- метричність зображення (забезпечує можливість отримання по карті абсолютних висот і перевищень, характеристик кутів нахилу, розчленовування місцевості);

- пластичність зображення (наочна передача нерівностей рельєфу, що формує у користувача зоровий образ місцевості);

- морфологічна відповідність зображення (виявляється у прагненні підкреслити типологічні особливості форм рельєфу та його структури).

Слід відзначити, що відомі вимоги, які пред'являються до зображення рельєфу і обумовлені географічними та психофізіологічними чинниками зазвичай ігноруються. Дослідження щодо цього є практично одиничними і часто не узгоджуються одне з одним в оцінці фізіологів, художників і картографів, тоді як в передачі зорового ефекту об'ємності зображення рельєфу такі оцінки відіграють значну роль.

Гіпсометричні шкали для моделювання рельєфу

Визначення і властивості гіпсометричних шкал.

Гіпсометрія (від грецьких слів: $\upsilon\lambda\theta\omicron\varsigma$ – висота і $\mu\epsilon\tau\rho\epsilon\omega$ – вимірюю) у широкому смислі розуміння вміщує у себе усі методи альтиметрії та нівелювання і складає окремий розділ геодезії, що займається як визначенням абсолютних та відносних висот місцевості, так і відображенням їх на планах, картах і профілях. Зазвичай же термін "гіпсометрія" використовують саме в останньому смислі, тобто відносно топографічного зображення висот місцевості. Тому в даній роботі під гіпсометрією розуміється спосіб зображення рельєфу земної поверхні за допомогою горизонталей, що сполучають крапки з однаковими висотами, залежними від характеру рельєфу, масштабу і призначення карти.

Для пошарового або гіпсометричного забарвлення використовують шкалу кольорів та їх відтінків, що змінюються, покриваючи проміжки між двома певними горизонталями одним з 58-ми відтінків шкали. Процеси складання і оформлення рельєфу нерозривно зв'язані між собою.

При створенні гіпсометричної карти певного масштабу і призначення розробляють шкалу ступенів висот і глибин з постійними або змінними інтервалами перетину рельєфу — гіпсометричну шкалу (рис. 6).

Наочність гіпсометричної карти і пластичний ефект забезпечуються застосуванням колірної палітри, на основі якої будують колірну шкалу пошарового забарвлення по ступенях висот і глибин.

Колірні гіпсометричні шкали повинні задовольняти певним умовам:

- логічна послідовність зміни кольорних характеристик по ступенях висот;
- поступовість переходу кольору в ступенях;
- чітке виділення кольором якісних рубежів у рельєфі (висотних зон суші або зон глибин океану);

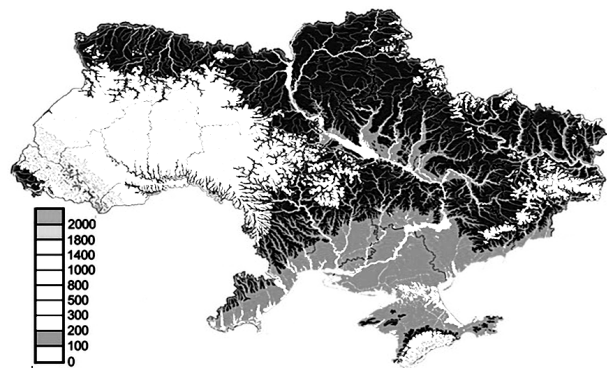


Рис. 6. Гіпсометрична карта України

- загальна колірна гармонія шкали, що створює враження цілісності, єдиний поверхні рельєфу;
- художність, естетичність колірної гамми;
- прозорість кольорів, що зберігає читаність інших елементів змісту карти.

Загальний колірний лад шкали, використання жовто-коричнево-червоної (на великих висотах) колірної гамми обумовлює сприйняття єдності і цілісності рельєфу зображуваної території.

Колірні шкали відзначаються достатньою прозорістю, коли для її більшої частини (за винятком високогірних районів від 4000 м) прийнята світла гамма тонів. У художньому відношенні колірний ряд представляє гармонійне поєднання тональних переходів. Особливий колорит полягає у використанні спокійних зеленувато-сірих тонів для рівнин.

Вибір колірної гамми гіпсометричних шкал конкретних карт залежить від ряду основних чинників: масштаб, призначення і тип карт, особливості рельєфу території, площа обхвату території, характер використання карт.

З масштабом, призначенням і типом карти зазвичай зв'язані детальність гіпсометричної шкали, число інтервалів перетину, застосування шкал з постійною або змінною висотою перетину, що у багато чому визначає загальний колірний лад шкали, вибір прийомів побудови колірного ряду, характер зміни кольорних параметрів у шкалі. Ступінь складності побудови колірного ряду залежить від кількості вибраних гіпсометричних шарів, від їх співвідношення за розмірами (вузькі, широкі) на різних висотах, від загального діапазону висот.

На загальних географічних картах, призначених для навчальних закладів, інтервали перетину зазвичай розріджені і в більшості випадків їх число співпадає з числом кольорних шарів, і воно, як правило, невелике.

На загально географічних картах науково-довідкового призначення, а також гіпсометричних картах шкали перетину рельєфу будують достатньо докладними, але для забезпечення наочності пошарового забарвлення число кольорних ступенів у порівнянні із загальною кількістю ступенів у шкалі приймається значно меншим (табл. 1).

При докладній гіпсометричній шкалі дуже важливо правильно вибрати межі ступенів пошарового забарвлення. Дослідами встановлено, що оптимальна кількість ступенів пошарового забарвлення,

яка дозволяє виконати гармонійне поєднання кольірних переходів і достатню розрізнюваність ступенів між собою, забезпечити єдність зображення рельєфу, читаність і пластичність сприйняття, не повинна перевищувати 16-18.

Таблиця 1 – Співвідношення загального числа інтервалів перетину рельєфу і кольірних ступенів гіпсометричних шкал

Масштаби гіпсометричних карт	Кількість інтервалів перетинів шкали	Кількість кольірних ступенів
1: 1 000 000	40	15
1: 2 500 000	32	16
1: 5 000 000	13	7
1: 10 000 000	16	9

На вибір кольірних шкал впливають особливості рельєфу території та площа її обхвату. Колірна шкала, побудована за принципом збільшення світлоти з висотою, найбільш ефективна для рельєфу гірських районів (рис. 7, а). Для районів з рівнинним і середньогірським рельєфом, а також територій значного обхвату з великою різноманітністю висотних зон доцільні шкали, що будуються за принципом зростання насиченості і теплоти кольору з висотою (рис. 7, б).

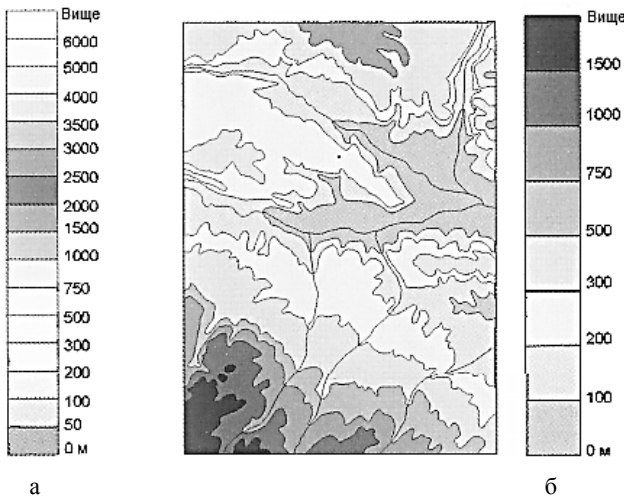


Рис. 7. Гіпсометричні шкали

Характер використання карти (настільна або стінна) визначає специфіку оформлення кольірної шкали. В основному вона виявляється в застосуванні яскравих насичених тонів для стінних карт і, навпаки, м'яких кольірних переходів зі значно більшою пороговою чутливістю відтінків одного кольору для настільних карт.

Розвиток гіпсометричного методу зображення рельєфу та створення дрібномасштабних гіпсометричних карт стали з перших років розвитку картографії одними з найважливіших науково-практичних задач, вирішення яких спричинило розроблення багатобразних кольірних шкал, заснованих на різноманітних принципах їх побудови.

Таким чином, будь-яка гіпсометрична шкала є кольірним рядом, побудованим за певними принципами. Всі кольірні шкали підрозділяються на шкали однорідних та змішаних кольірних рядів.

Постановка задачі дослідження

Отже, із проведеного вище аналізу особливостей методологічних основ візуалізації рельєфу місцевості, історико-технологічних аспектів та класифікації методів і способів його картографування, а також особливостей формування для цього гіпсометричних шкал, виникає актуальна задача розвитку методів і способів якісного відтворення рельєфу місцевості як одного з найважливіших елементів змісту географічних карт.

Звідси об'єктом дослідження є процес оперативної та достовірної візуалізації рельєфу місцевості за даними ДЗЗ для забезпечення урядових, господарчих та природоохоронних закладів актуальними тематичними картами, що відображають поточний стан території держави. Відповідно, предметом дослідження є розроблення методики побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними ДЗЗ. Метою роботи є підвищення інформативності візуалізації рельєфу земної поверхні за рахунок надання зображенням об'ємності, наочності, читаності, виразності та гармонійності оформлення гіпсометричних карт.

У якості програмного забезпечення для виконання поставлених завдань використовувався програмний пакет геоінформаційної системи ArcGIS 10.5 компанії ESRI (США) із залученням спеціальних модулів Spatial Analyst та 3D Analyst.

Методика побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними ДЗЗ

З урахуванням принципів створення гіпсометричних шкал розроблено методику побудови гіпсометричних картографічних моделей, що візуалізують рельєф місцевості за даними ДЗЗ (рис. 8).



Рис. 8. Структурна схема методики створення гіпсометричних карт рельєфу

Розроблена методика для побудови рельєфу передбачає використання даних SRTM (Shuttle radar topographic mission).

Характеристика даних SRTM. Вперше місія SRTM була виконана у 2000 році з борту космічного корабля багаторазового використання "Space Shuttle" з використанням радарної інтерферометричної зйомки поверхні Землі. Ця зйомка була проведена майже на всій території суші, а також океанів, між 54° південної широти та 60° північної широти за допомогою двох радіолокаційних сенсорів SIR-C та X-SAR, встановлених на борту.

Результатом зйомки стала цифрова модель рельєфу 85% поверхні Землі. Всього в результаті зйомки отримано 12 Tbt радіолокаційних даних, які протягом 2 років проходили обробку фахівцями NASA. Дані SRTM існують в декількох версіях: попередні (Версія-1 2003 р.) та остаточна (Версія-2 2005 р.). Остаточна версія пройшла додаткову обробку, виділення берегових ліній і водних об'єктів, фільтрацію помилкових значень.

Дані поширюються у вигляді сітки з розміром комірки 1" та сітки з розміром комірки 3". Односекундні дані (SRTM1) доступні на території США, на решту поверхні Землі доступні тільки трисекундні дані (SRTM3). Файли даних являють собою матрицю з 1201x1201 (або 3601x3601 для односекундної версії) значень, яка може бути імпортована в різні програми для побудови карт та геоінформаційні системи.

Отримання даних SRTM. Існує дві версії даних: попередня (unfinished, версія 1) та остаточна (finished, версія 2). Остаточна версія пройшла додаткову обробку, виділення берегових ліній і водних об'єктів, фільтрацію помилкових значень.

Спочатку планувалося поширення даних Level-2 з максимальною роздільною здатністю — 30 м (1"), але у зв'язку із загрозою тероризму було прийнято рішення поширювати генералізовані дані Level-1 із розрізненням 90 м (3") на всю зняту територію, крім території США, на яку дані поширюються з максимальною роздільною здатністю. На деякі території в США (загальною площею 50000 кв. км) зйомка взагалі не проводилася, що мабуть також пов'язано з питаннями національної безпеки. Дані є простим 16-бітовим растром (без заголовку). Значення пікселя є висотою над рівнем моря в даній точці. Значення пікселя також може приймати значення -32768, що відповідає значенню no data (немає даних). При цьому використовується референціальпосід даних WGS84.

Назва квадрата відповідає координатам його лівого нижнього кута. Наприклад: N45E136 відповідає 45° північної широти та 136° східної довготи.

Більша частина даних доступна безкоштовно через HTTP:

Версія-1 — <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/> ;

Версія-2 — http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/.

Схема покриття даними SRTM території України міститься в проекті ArcMap SRTM.mxd у папці SRTM_Download.

Для завантаження даних SRTM згідно заданої території необхідно знати координати лівого ниж-

нього кута квадрата, що покриває дану територію. Наприклад, для південного берега Криму покриття даними SRTM відповідає квадратам N44E033, N44E034 (рис. 9).

Для завантаження (отримання) квадратів N44E033, N44E034 треба перейти за посиланням http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/ (рис. 10).

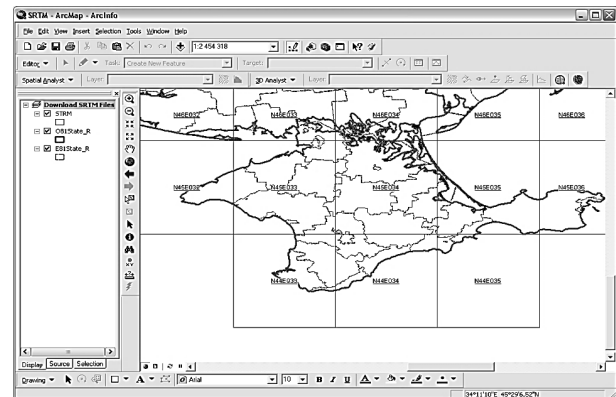


Рис. 9. Покриття даними SRTM південного берега Криму (інтерфейс програми ArcMap)

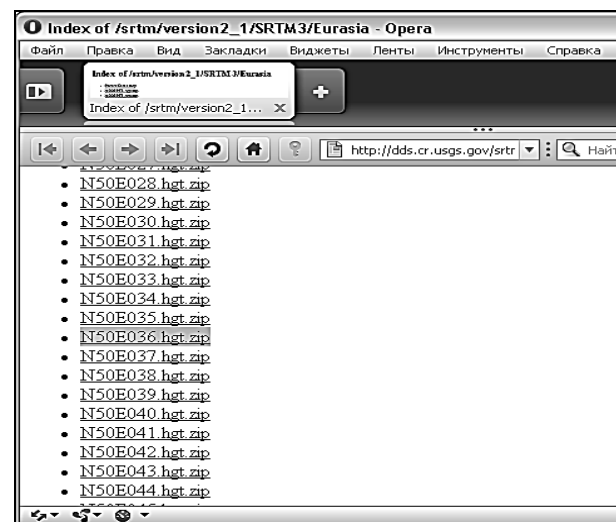


Рис. 10. Завантаження (отримання) даних SRTM

Перетворення даних SRTM. Для перетворення даних SRTM з метою автоматичного імпорту в ArcMap доцільно використовувати спеціальну утиліту Process-srtm (рис. 11).

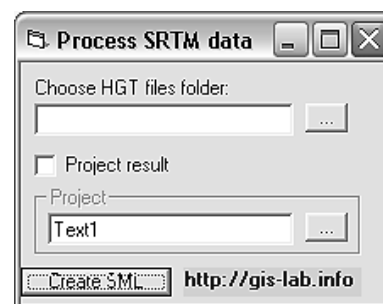


Рис. 11. Вікно програми Process-srtm

В процесі роботи ця програма реалізує такі кроки:

- 1) перейменовує матриці HGT у BIL;
- 2) розраховує координати кутів і створює для кожної матриці файл заголовку HDR;
- 3) створює файл пакетної обробки для програми ArcInfo з пакету ArcGIS.

Для перетворення даних необхідно помістити завантажені (отримані) дані у папку і запустити файл Process-SRTM.exe, вказавши шлях до створеної цільової папки та натиснувши кнопку "Create SML". У цільовій директорії буде створено файли з розширенням .hdr та .bil.

Завантаження даних рельєфу в програму ArcMap. Додання карті, яку готували до публікації у пресі або Internet, рельєфного вигляду вельми підвищує її естетичну привабливість. Програма

ArcView з пакету ArcGIS при наявності модулів Spatial Analyst та 3D Analyst має розширені можливості для створення подібних карт.

Для додання зображенню видимого об'єму необхідна наявність шару, що представляє безперервне поле значень висот. Якщо робота з цим шаром йде в Arcview \ ArcInfo, то цей шар, швидше за все, буде представлений спеціальним форматом GRID.

Для початку потрібно отримати базовий шар GRID, на основі якого будуть отримані інші шари, що нададуть рельєфу об'ємності.

Отже, для створених растрових шарів даних SRTM після запуску програми ArcCatalog слід обрати (призначити) систему координат GCS_WGS_1984 (рис. 12).

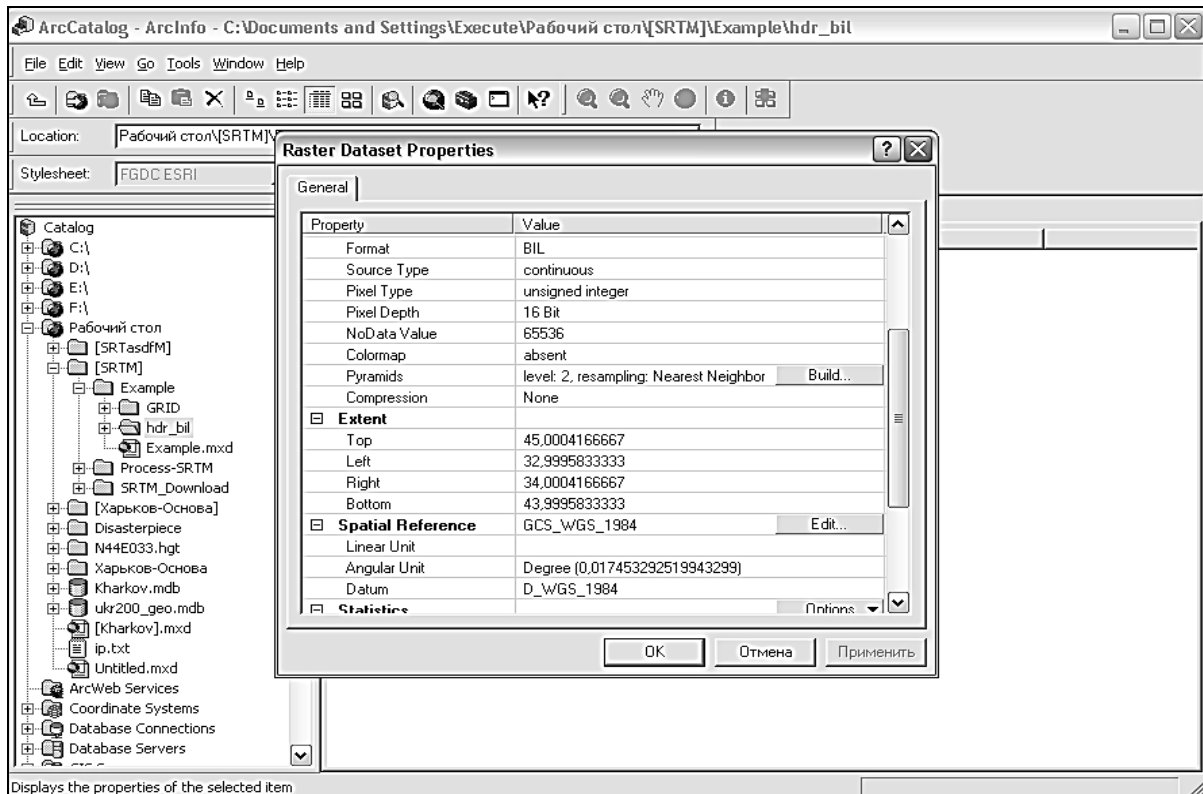



Рис. 12. Призначення завантажуваним даним SRTM системи координат GCS_WGS_1984

Для створення моделі GRID слід обрати опцію Export / Raster To Different Formats в контекстному меню растрових шарів даних SRTM.

Далі після запуску ArcMap і призначення системи координат GCS_WGS_1984 слід додати в проект ArcMap створені квадрати моделі GRID натиснувши на кнопку  і обравши необхідні шари, що визначають контур області (рис. 13). Після цього слід завантажити програмні модулі Spatial Analyst та 3D Analyst (використовуючи меню Tools/Extensions).

Створення карт тіньового рельєфу. Після підготовки вихідних даних починаємо процес вибору кольорової палітри для забарвлення рельєфу. Для початку слід "перекрашувати" GRID в кольори, відповідні загальноприйнятним нормам відмінання рельєфу. Далі треба відредагувати легенду GRID (рис. 14) подвійним натисканням на назві GRID-теми задля відкриття її властивості та переходу на вкладку Symbology

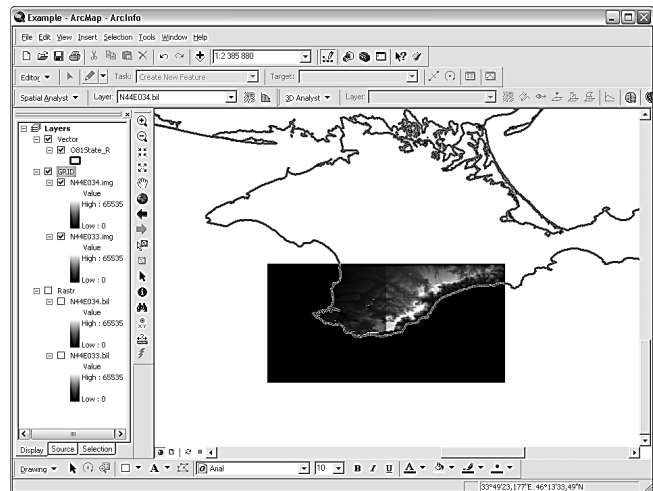


Рис. 13. Завантаження даних SRTM та векторного шару в програму ArcMap

При цьому можна також змінити класифікацію (за замовчуванням виставляється 9 класів) та ввести вручну значення висот з правильним інтервалом (50-100).

Надалі треба відтінити рельєф, додати йому тіней (зробити відмивання рельєфу). Виконання відмивання рельєфу за даними висот та додавання прозорості нададуть якісну картину рельєфу і значно поліпшать зовнішній вигляд карти. Робою temu базового рельєфу активною в Spatial Analyst і вибираємо опцію Surface Analysis \ Hillshade. У діалоговому вікні буде запропоновано вказати азимут (azimuth) на "джерело освітлення", від якого залежатимуть напрями тіней, а також "висоту Сонця" (altitude) над горизонтом (рис. 15). Результат з налаштуваннями за замовчуванням (тема з назвою Hillshade of GRID) можна й не чіпати. Тема сама по собі досить інформативна завдяки градієнтному переходу від чорного до білого (рис. 16).

Проте можливо її використовувати як базовий шар для отримання не просто тіньового рельєфу, а ще й розфарбованого за кольорами. Для цього слід помістити шар GRID-моделей над шарами Hillshade. Далі у властивостях шару GRID (рис. 17) в закладці Display експериментально обираються параметри прозорості, яскравості та контрастності.

Результатом буде карта з відтіненим рельєфом, розфарбованим за висотною зональністю (рис. 18).

Для остаточно завершення побудови гіпсометричної картографічної моделі рельєфу слід перейти до меню View/ Layout View. В налаштуваннях друку (File/Page and Print Setup) встановити формат аркуша (наприклад, А4) та бажану (наприклад, альбомну) орієнтацію аркуша. З використанням стандартних інструментів програми ArcMap (через меню Insert) врешті отримуємо гіпсометричну картографічну модель рельєфу південного берегу Криму (ПБК) (рис. 19).

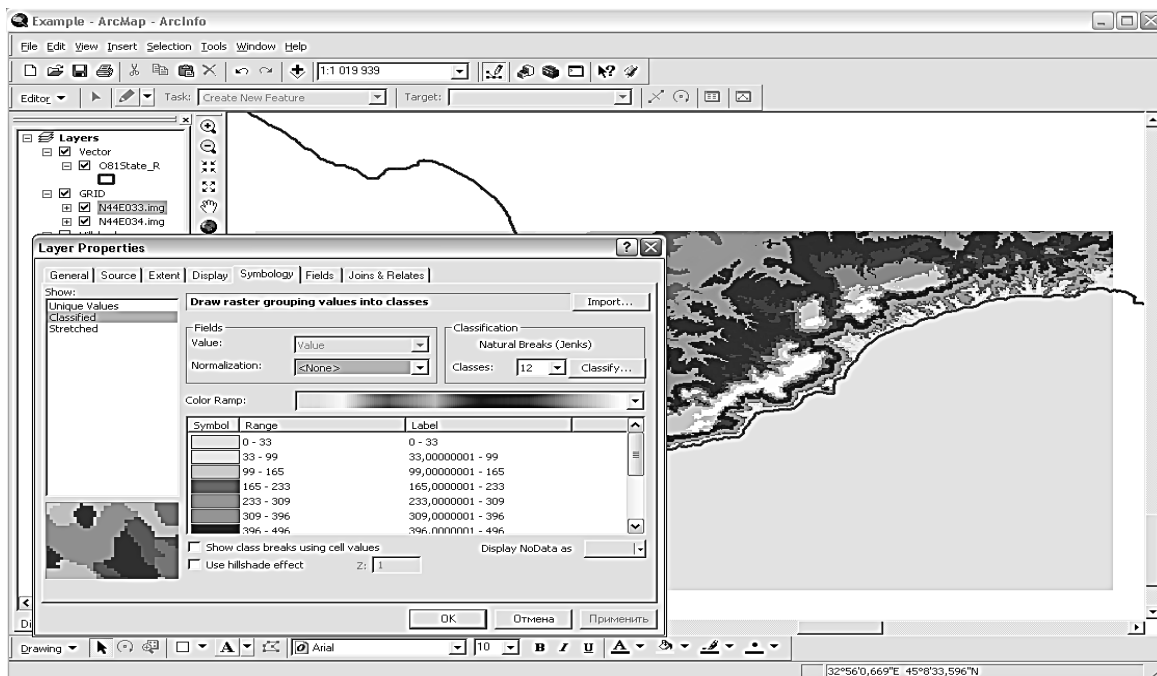


Рис. 14. Редагування легенди GRID

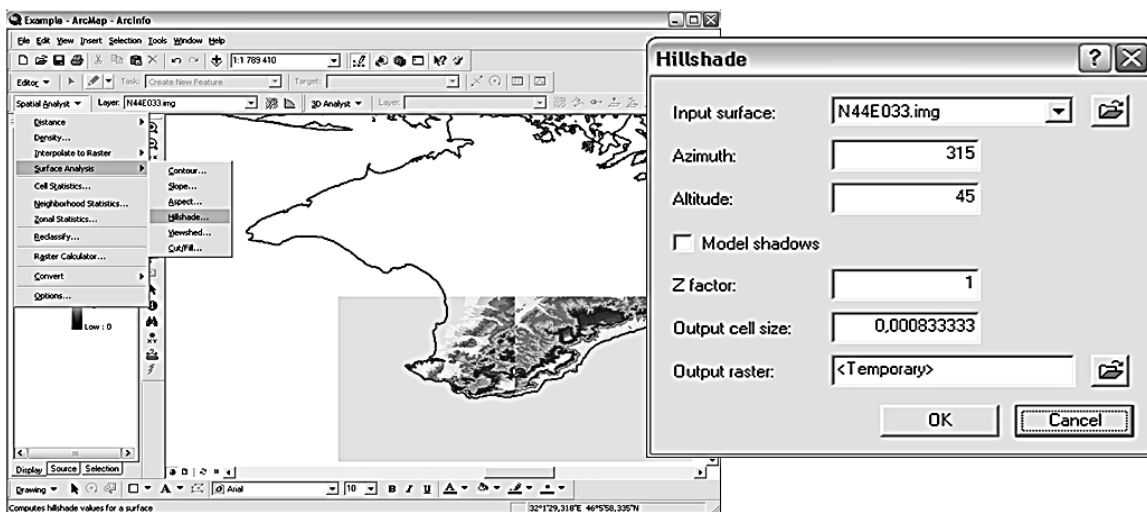


Рис. 15. Виконання відмивання рельєфу

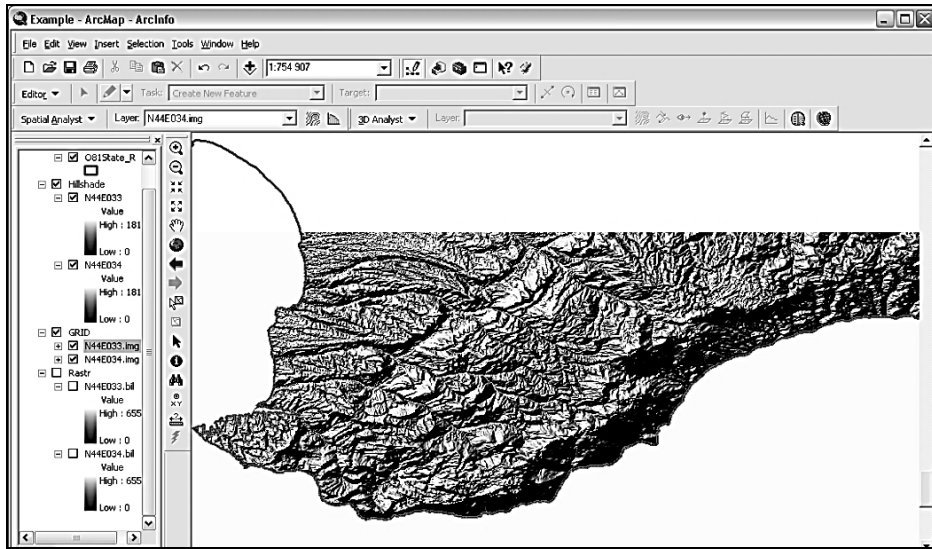


Рис. 16. Результат відмивання базового шару GRID

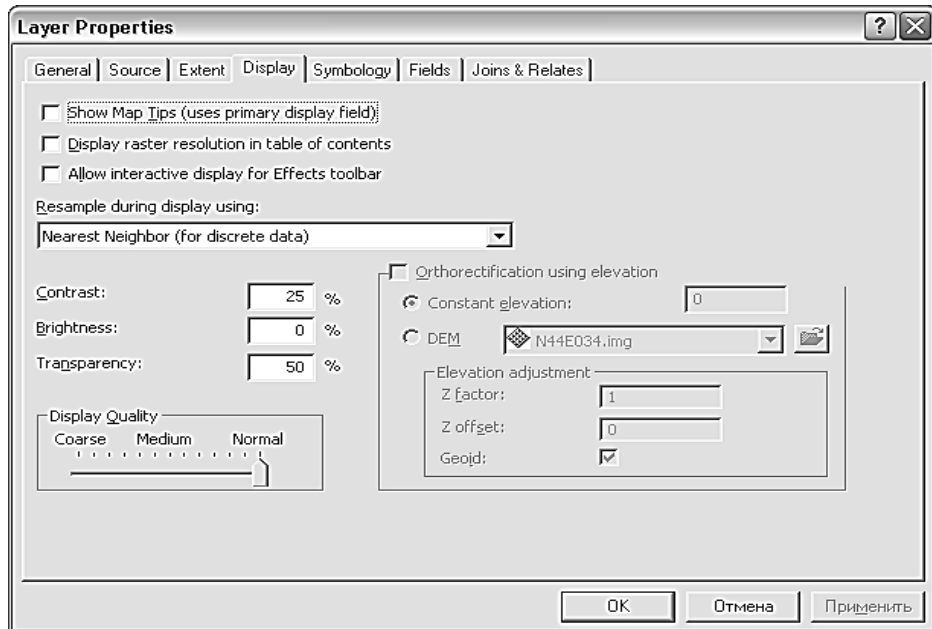


Рис. 17. Редагування параметрів шару GRID

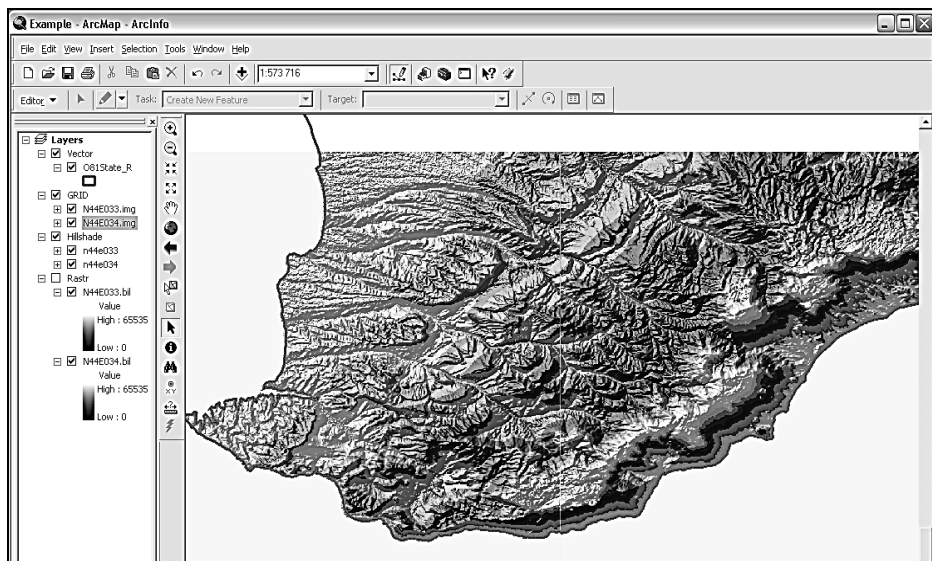


Рис. 18. Карта тіншового рельєфу, розфарбованого за висотами (інтерфейс програми ArcMap)

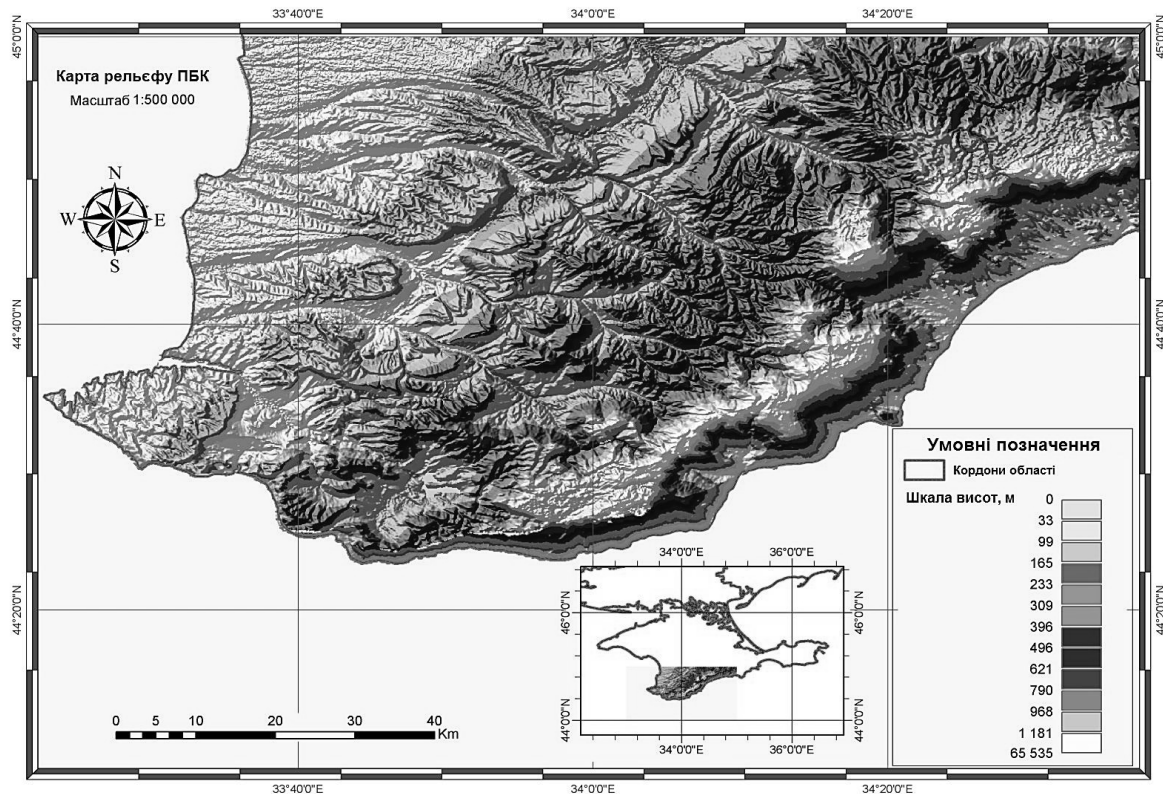


Рис. 19. Гіпсометрична картографічна модель рельєфу південного берегу Криму

Запропонована методика є універсальною і придатна для створення гіпсометричних картографічних моделей рельєфу 85% поверхні Землі із заданими розрізняльною здатністю на місцевості та розрізненням і колірною пластикою гіпсометричних шкал, що забезпечує досягнення необхідної достовірності, точності, оперативності та повноти тривимірного сприйняття змісту географічних карт, а також їх естетичної привабливості.

Висновки

На підставі проведеного аналізу методологічних основ візуалізації рельєфу місцевості встановлено надзвичайну важливість цього елемента змісту географічних карт, адже саме рельєф визначає характер та розміщення компонентів ландшафту і тісно пов'язаний з усіма складовими загальногеографічних і тематичних карт.

Досліджено історико-технологічні аспекти картографування рельєфу, класифікацію методів і способів його зображення, а також основні чинники впливу на вибір методів і способів відтворення рельєфу в залежності від типу створюваної карти, її масштабу, проєкції, призначення, способу використання та форми представлення, а також кваліфікаційних характеристик розробників картографічних зображень. Ок-

реслено основні вимоги до зображення рельєфу з урахуванням необхідності збереження характерного зовнішнього вигляду ландшафту, генетичних відмінностей його форм, регіональних особливостей конкретних районів і, врешті, естетичної привабливості отриманих картографічних моделей.

Проаналізовано основні властивості гіпсометричних шкал для моделювання рельєфу, а також сучасні вимоги до них та принципи їх побудови з урахуванням необхідності дотримання загальної колірної гармонії та художності колірної гамми.

З урахуванням принципів створення гіпсометричних шкал розроблено методику побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними дистанційного зондування Землі. Методика передбачає безкоштовне отримання даних радарної інтерферометричної зйомки SRTM і за рахунок їх специфічної обробки з використанням програмного пакету ArcGIS побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу у межах 85% поверхні Землі із заданими розрізняльною здатністю на місцевості та розрізненням і колірною пластикою гіпсометричних шкал. При цьому забезпечується необхідна достовірність, точність, оперативність та повнота тривимірного сприйняття змісту географічних карт рельєфу місцевості, що цікавить.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев С. М., Жилін В. А. Методика побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування землі. *Сучасні інформаційні системи: Щоквартальний науково-технічний журнал*. Харків: НТУ "ХПІ", 2020. Т. 4, № 3. С. 22-40. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.04>
2. Андреев С. М., Жилін В. А., Мельник А. П. Застосування анаморфозних картографічних моделей для аналізу геоданих. *Сучасні інформаційні системи: Щоквартальний науково-технічний журнал*. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. Т. 3, № 3. 142 с. С. 5-16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>

3. Андреев С. М., Жилин В. А. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. *Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць*. Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2019. Вип. 1(53). С. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.003>
4. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. М.: Астрейя, 1997. 64 с.
5. Ковалева О. В. Оформление карт: традиции и современность. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2010. № 5. С. 60-63.
6. Жукова О. Ю., Ковалева О. В., Золотарева Т. Г. Колориметрическая оценка качества гипсометрических шкал для оформления карт. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2010. № 6. С. 81-89.
7. Жукова О. Ю., Ковалева О. В. Об использовании цветовой пластики (пространственного воздействия цвета) в оформлении карт. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2012. № 1. С. 46-54.
8. Ковалева О. В. Психофизический и физиологический аспекты восприятия графической информации применительно к изображению рельефа на картах. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2012. № 3. С. 75-80.
9. Берлянт А. М. Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 262 с.
10. Башенина Н.В. Формирование современного рельефа земной поверхности. М.: Высшая школа, 1967 388 с.
11. Берлянт А. М. Картография: учебник для вузов. 2-е изд., исправленное и дополненное. М.: КДУ, 2010. 238 с.
12. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2002. 288 с.
13. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: КДУ, 2010. 424 с.
14. Лурье И. К., Самсонов Т. Е. Структура и содержание базы пространственных данных для мультимасштабного картографирования. *Геодезия и картография*. 2010, № 11. С. 17-23.
15. Самсонов Т. Е. Мультимасштабные базы геоданных для электронных карт. *Пространственные данные*. 2009. № 4. С. 46-51.

REFERENCES

1. Andriev, S.M. and Zhilin, V.A. (2020), "Methods of construction of hydrological cartographic models according to remote sensing of the Earth data", *Advanced Information Systems*, Vol. 4, No. 3, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, pp. 22-40, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.04>
2. Andriev, S.M., Zhilin, V.A. and Melnyk, A.P. (2019), "The use of anamorphosis cartographic models for geodata analysis", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 3, Quarterly scientific and technical journal, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, pp. 5-16, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>
3. Andreev, S. and Zhilin, V. (2019), "Application of aerophotic data with unmanned aircraft for developing 3D models of terrain", *Control, navigation and communication systems: collection of scientific works*, No. 1(53), Poltava NTU Yuri Kondratyuk, Poltava, pp. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.003>
4. Berlant, A. M. (1997), *Geoinformation mapping*, Astreya, Moscow, 64 p.
5. Kovaleva, O. V. (2010), "Design of maps: traditions and modernity", *Izv. universities. Geodesy and aerial photography*, No. 5, pp. 60-63.
6. Zhukova, O. Yu., Kovaleva, O. V. and Zolotareva, T. G. (2010), "Colorimetric assessment of the quality of hypsometric scales for drawing cards", *Izv. universities. Geodesy and aerial photography*, No. 6, pp. 81-89.
7. Zhukova, O. Yu. and Kovaleva, O. V. (2012), "About the use of color plastics (spatial influence of color) in the design of maps", *Izv. universities. Geodesy and aerial photography*, No. 1, pp. 46-54.
8. Kovaleva, O. V. (2012), "Psychophysical and physiological aspects of the perception of graphic information as applied to the image of the relief on the maps", *Izv. Universities. Geodesy and aerial photography*, No. 3, pp. 75-80.
9. Berlant, A. M. (2006), *Theory of geoimages*, GEOS, Moscow, 262 p.
10. Bashenina, N. V. (1967), *Formation of the modern relief of the earth's surface*, Higher school, Moscow, 388 p.
11. Berlant, A. M. (2010), *Cartography: a textbook for universities. 2nd edition, revised and enlarged*, KDU, Moscow, 238 p.
12. Vostokova, A.V., Koshel, S. M. and Ushakova, L. A. (2002), *Card design. Computer design: Textbook for universities*, Aspect Press, Moscow, 288 p.
13. Lurie, I. K. (2010), *Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of space images: Textbook for universities*. 2nd ed., KDU, Moscow, 424 p.
14. Lurie, I. K. and Samsonov, T. E. (2010), "The structure and content of the spatial database for multiscale mapping", *Geodesy and Cartography*, No. 11, pp. 17-23.
15. Samsonov, T. E. (2009), "Multiscale geodatabase for electronic maps", *Spatial data*, No. 4, pp. 46-51.

Received (Надійшла) 27.08.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Андреев Сергей Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна;

Sergey Andriev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: AndreevSM@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

Жилин Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна;

Volodymyr Zhilin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: v.zhilin@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-3456>

Методика построения гипсометрических картографических моделей рельефа по данным дистанционного зондирования Земли

С. М. Андреев, В. А. Жилин

Аннотация. Предметом исследования является разработка методики построения гипсометрических картографических моделей рельефа по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). **Объектом исследования** является процесс оперативной и достоверной визуализации рельефа местности по данным ДЗЗ для обеспечения правительственных, хозяйственных и природоохранных учреждений актуальными тематическими картами, отражающими текущее состояние территории государства. **Целью работы** является повышение информативности визуализации рельефа земной поверхности за счет обеспечения объемности, наглядности и читабельности картографических изображений, а также выразительности и гармоничности оформления гипсометрических карт. **Выводы.** На основании проведенного анализа методологических основ визуализации рельефа местности установлено чрезвычайную важность этого элемента содержания географических карт, ведь именно рельеф определяет характер и размещение компонентов ландшафта и тесно связан со всеми составляющими общегеографических и тематических карт. Исследованы историко-технологические аспекты картографирования рельефа, классификация методов и способов его изображения, а также основные факторы влияния на выбор методов и способов воспроизведения рельефа в зависимости от типа создаваемой карты, ее масштаба, проекции, назначения, способа использования и формы представления, а также квалификационных характеристик разработчиков картографических изображений. Определены основные требования к изображению рельефа с учетом необходимости сохранения характерного внешнего вида ландшафта, генетических различий его форм, региональных особенностей конкретных районов и, наконец, эстетической привлекательности полученных картографических моделей. Проанализированы основные свойства гипсометрических шкал для моделирования рельефа, а также современные требования к ним и принципы их построения с учетом необходимости соблюдения общей цветовой гармонии и художественности цветовой гаммы. С учетом принципов создания гипсометрических шкал разработана методика построения гипсометрических картографических моделей рельефа по данным дистанционного зондирования Земли. Методика предусматривает бесплатное получение данных радарной интерферометрической съемки SRTM и за счет их специфической обработки с использованием программного пакета ArcGIS построение гипсометрических картографических моделей рельефа в пределах 85% поверхности Земли с заданной разрешающей способностью на местности, а также с заданными разрешением и цветовой пластикой гипсометрических шкал. При этом обеспечивается необходимая достоверность, точность, оперативность и полнота трехмерного восприятия содержания географических карт рельефа интересующей местности.

Ключевые слова: геоинформационные системы; картографические модели; гипсометрические шкалы; методы и способы визуализации рельефа.

Methodology for constructing hypsometric cartographic relief models according to the Earth remote sensing data

Sergey Andrieiev, Volodymyr Zhilin

Abstract. The subject of this research is the development of a methodology for constructing hypsometric cartographic relief models based on Earth remote sensing (ERS) data. **The object of the research** is the process of operative and reliable visualization of the terrain according to remote sensing data to provide government, economic and environmental institutions with relevant thematic maps reflecting the current state of the country territory. **The objective of the work** is to increase the informativeness of the visualization of the earth's surface relief by providing the volume, clarity and readability of cartographic images, as well as the expressiveness and harmony of the design of hypsometric maps. **Conclusions.** Based on the analysis of the methodological foundations for visualization of the terrain, it has been established that this element of the geographical maps content is extremely important because it is the relief that determines the nature and location of landscape components and is closely related to all components of general geographical and thematic maps. The historical and technological aspects of relief mapping, the classification of methods and methods of its representation, as well as the main factors of influence on the choice of methodologies and methods of reproducing the relief, depending on the type of the created map, its scale, projection, purpose, method of use and form of presentation, as well as qualification characteristics of the developers of cartographic images. The basic requirements for the image of the relief are determined, taking into account the need to preserve the characteristic appearance of the landscape, the genetic differences in its forms, the regional characteristics of specific areas and, finally, the aesthetic appeal of the resulting cartographic models. The main properties of hypsometric scales for modeling the relief, as well as modern requirements for them and the principles of their construction, considering the need to comply with the general color harmony and artistry of the color range, have been analyzed. Considering the principles of creating hypsometric scales, a method for constructing hypsometric cartographic relief models based on data from remote sensing of the Earth, has been developed. The methodology provides for the free acquisition of SRTM radar interferometric survey data and, due to their specific processing using the ArcGIS software package, the construction of hypsometric cartographic relief models within 85% of the Earth's surface with a given resolution on the ground, as well as with a given resolution and color plastics of hypsometric scales. At the same time, the necessary reliability, accuracy, efficiency and completeness of three-dimensional perception of the content of geographic relief maps of the area of interest are provided.

Keywords: geographic information systems; cartographic models; hypsometric scales; methods and techniques for visualizing the relief.