

РЕЛЬЕФ ЯК ГОЛОВНИЙ КОМПОНЕНТ ТРИВИМІРНИХ РЕАЛІСТИЧНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Розглядається проблема передачі даних про рельєф з цифрових топографічних карт в середовище тривимірних редакторів. Дані експортувались у вигляді горизонталей і як тривимірні об'єкти. ЦМР будувалась в середовищі MapInfo, ArcInfo, 3DS Max, Bryce і Digital. Висвітлено проблему обробки рельєфу місцевості в середовищі тривимірних редакторів. Описано основні типи і структурні моделі представлення тривимірних форм рельєфу.

Рассматривается проблема передачи данных о рельефе з цифровых топографических карт в среду трехмерных редакторов. Данные экспортировались в виде горизонталей и как трехмерные объекты. ЦМР строилась в среде MapInfo, ArcInfo, 3DS Max, Bryce и Digital. Раскрыто проблему обработки рельефа местности в среде трехмерных редакторов. Описано основные типы и структурные модели представления трехмерных форм рельефа.

The problem of relief data transmission from digital topographic maps into 3D editors environment is considered. The data were exported in the form of horizontal lines and 3D objects. The digital relief models were built in Mapinfo, ArcInfo, 3DS Max, Bryce and Digital's environment. The problem of terrain relief processing in 3D editors is exposed. It is described the main types and the models of 3D relief forms submission.

Вступ. Найважливішим компонентом тривимірних реалістичних картографічних моделей є рельєф. Багато фахівців асоціює текстуровану аерофотознімком ЦМР з тривимірною моделлю території. Саме на цю частину змісту припадає найбільша кількість досліджень.

Аналіз останніх публікацій на цю тему. Проблеми моделювання рельєфу розглядаються в дослідженнях [1-4]. Технологічні схеми побудови ЦМР описують публікації [6, 13 і 17]. Можливі варіанти застосування ЦМР викладено в [5 і 15]. Порівняння різних моделей апроксимації рельєфу характеризують дослідження [7, 11]. Книга [9] містить опис основних типів рельєфу і дає вказівки щодо правильного їх зображення на топографічних картах. В статті [10] викладено досвід

виготовлення рельєфних карт. Рекомендується застосовувати різний вертикальний масштаб для різних висотних зон, а також конкретні значення його для карт на різну за охопленням територію. Стаття [16] розглядає методи оцінки точності ЦМР. Робота [18] описує один з численних алгоритмів текстурування ЦМР з метою отримання реалістичного зображення місцевості. Стаття [19] досліджує розподіл висот континентів. Один із способів згладжування ЦМР викладено в [20]. Вказується, як вітрові навантаження і налипання мокрого снігу, що руйнують інженерні споруди, залежать від рельєфу місцевості [21]. Тут же наведені результати виділення і класифікації форм рельєфу по його ЦМР за допомогою ГІС.

Постановка проблеми. В більшості публікацій, що стосуються рельєфу, мова йде про його моделювання, тобто про способи досконалого описання за допомогою математичних алгоритмів. В цій статті основну увагу зосереджено на передачі і представленні рельєфу на тривимірних моделях. На думку автора, тому, хто створює тривимірні моделі, важливий не математичний апарат, а якісна передача і реалістичне представлення рельєфу. Звичайно, відлагоджений математичний апарат дасть змогу досконало описати його за допомогою меншої кількості даних і досягнути менших спотворень, ніж при „автоматичному” використанні триангуляції чи полігонів. Тому дослідження інших авторів були враховані при розробці алгоритму включення даних про рельєф у тривимірні реалістичні моделі.

Для значного об'єму даних, які зосереджує у собі рельєф карти, не є актуальним створення рельєфу вручну. Тим більше такий рельєф не матиме нічого спільного з об'єктивною реальністю. Тому ЦМР має бути виготовлена за участю картографічного програмного забезпечення або отриманою з готових топографічних чи дрібномасштабних карт. Питання виготовлення ЦМР і її експорту-імпорту до програм тривимірної графіки і є **метою** цієї статті.

Терміни й визначення. *ЦМР* (цифрова модель рельєфу) – цифрове і математичне представлення земної поверхні на основі дискретної сукупності вихідних точок, які дозволяють із заданою точністю обчислити висоту будь-якої точки за її плановими координатами [2].

Сітка (mesh) – представник класу редагованих об'єктів, поверхня яких розбивається на полігони або трикутники.

Тип сітки поверхні – представлення сітчатого об'єкта в середовищі програми-редактора. Найчастіше зустрічається проста (трикутна), полігональна, Безье і NURBS.

Вид сітки – математичний апарат, що описує сітчатий об'єкт. Сітка може бути регулярною (tin) і нерегулярною (grid).

Виклад матеріалу дослідження. Під час створення тривимірних реалістичних

картографічних моделей виникають кілька проблем, пов'язаних з рельєфом: пошук вихідних даних і виготовлення ЦМР, повноцінний експорт ЦМР до програми, в якій створюватиметься модель і робота з рельєфом безпосередньо у її середовищі (редагування і анімація). Розглянемо їх по-порядку.

Перша проблема полягає у отриманні вихідних даних, що описують рельєф. Якщо такі дані і вдається знайти, то це, як правило, картографічний матеріал (гіпсометричні карти). Тривимірні моделі рельєфу не є поширеними і виготовлені на незначну територію. Дані інших типів для створення ЦМР непридатні.

Карти можуть бути паперовими, векторизованими електронними і цифровими. Тільки цифрові карти містять значення висоти в атрибутах горизонталей, електронні ж вимагають додаткового редагування, що полягає в створенні бази даних висот горизонталей. Рельєф на паперових картах повністю оцифровується. Взагалі процес векторизації є загальновідомим і поширеним на виробництві, тому в цій статті він не викладається. Припускається, що вишукувач так чи інакше отримав цифрову карту.

Дані на цифровій карті, що описують рельєф, зосереджені в точках або в лініях. Тобто це горизонталі або висотні відмітки. В тривимірних моделях рельєф представлений поверхнею, єдиним об'єктом. Ця поверхня, як і будь-який складний нерегулярний об'єкт, має сітчасту структуру. Текстура повинна проектуватися на кожний елемент сітки в залежності від текстурних координат, які містить будь-який тривимірний об'єкт в програмному середовищі (рис. 1).



Рис. 1. Цифрова модель рельєфу (tin), частково покрита текстурою

Друга проблема полягає у перетворенні горизонталей або висотних відміток у сітчастий об'єкт – поверхню рельєфа. Вона вирішується простіше, якщо тривимірна модель будується в середовищі ГІС. Геосистеми сумісні між собою і карта, виготовлена в Digitals, без проблем експортувалась в ArcInfo. В інших випадках дані потрібно експортувати з формату ГІС в

середовище програми, яка працює з тривимірною графікою. Інформацію можна передати у вигляді горизонталей і як ЦМР.

Передача горизонталей з геосистем в програми тривимірної графіки в більшості випадків відбувається успішно. Проте не всі тривимірні редактори і генератори ландшафтів можуть побудувати з них тривимірне тіло рельєфу. 3D Max версії 8 і вище дає можливість побудувати поверхню висот за допомогою функції Terrain („місцевість“). Горизонталі імпортуються до програми, як правило, в форматі DXF. Кожна з них повинна мати висоту, тобто знаходитись на своєму місці по висоті. Крім того, всі горизонталі повинні бути в активному шарі. Для невеликого об'єму даних їх рознесення по шарах не є важливим. Якщо ж опрацьовується рельєф всієї топографічної карти, то з рознесеними по шарах горизонталями побудова ЦМР триває кілька годин, в той час з одним шаром – декілька секунд. Функція (кнопка) Terrain розміщена в панелі Create (Створити) – Compound Object (Складні об'єкти). Інші тривимірні редактори (Maya, Cinema 4D, Bryce, World Builder) такої можливості не мають. Тому для роботи з рельєфом в середовищі перерахованого програмного забезпечення ЦМР потрібно створювати в ГІС, а потім передавати в тривимірні редактори. Ця процедура і викликає найбільші проблеми.

В дослідженні використовувались наступні ГІС: MapInfo, ArcInfo і Digitals. З горизонталей в ГІС MapInfo за допомогою модуля Vertical Mapper отримували висотні відмітки, а з них в середовищі того ж модуля – сітку ЦМР. Експортувати її вдалося тільки за допомогою карти висот. Формати DWG, DXF (AutoCAD), DGN (Microstation), експорт у які підтримує Vertical Mapper, неможливо було відкрити як в тривимірних редакторах, так і в AutoCAD чи Microstation.

ArcGIS за допомогою модуля 3D Analyst дає можливість побудувати ЦМР безпосередньо з горизонталей, без перетворення їх у висотні відмітки. ЦМР можна експортувати в форматі VRML, який підтримують практично всі тривимірні редактори. Під час випробувань створення ЦМР і її конвертація пройшли успішно.

Далі розглянемо третю проблему – роботу з рельєфом у програмному середовищі. Тут має значення спосіб представлення ЦМР. Як відомо, вона може бути представлена у 2-х формах – нерегулярної сітки TIN і регулярної GRID. Програмне забезпечення, що використовуються для створення тривимірних моделей, по-різному працює із цими видами поверхонь. Наприклад, геосистеми краще працюють із нерегулярною сіткою, генератори ландшафтів – з регулярною, тривимірні редактори можуть працювати з будь-якою моделлю представлення даних.

Кожний спосіб представлення має свої переваги та недоліки. До переваг TIN можна віднести наступні:

- невеликий об'єм даних. Тут важливий не сам розмір файлу, а швидкість роботи в середовищі програми. Комп'ютер за одиницю часу може прорисувати тільки певну кількість базових форм – трикутників чи полігонів, тому чим менше останніх, тим швидше працює система. Визначити залежність між кількістю трикутників і швидкістю роботи важко, бо вона індивідуальна для кожного комп'ютера, але автор із свого досвіду може сказати, що вона нелінійна. На порівняно слабких машинах модель навіть не завантажується.

TIN-модель має і недоліки. До них належать „тераси” – плоскі ділянки в завідомо неможливій геологічній ситуації, наприклад, по лінії дна V-подібних тальвегів і утворення великого числа (до кількох тисяч на лист топографічної карти) паразитних локальних понижень (синків).

До переваг регулярної сітки належить можливість анімації форм рельєфу. Для того, щоб одна його форма плавно перетворювалась в іншу (така задача часто виникає: наприклад, для показу еволюції гір) потрібно, щоб кожна точка рельєфу змінювала своє положення. Можна вручну редагувати кожен точку, але це не раціонально через великі витрати часу. Модель рельєфу досліджуваної топографічної карти містила 137007 трикутників і 68645 точок. Тому кожній точці вихідного рельєфу має відповідати строго певна точка модифікованого. Це можна реалізувати тільки за допомогою GRID-моделі. TIN будується кожного разу індивідуально.

Недоліком GRID можна вважати великий об'єм даних – приблизно в 10 раз більший за TIN. Наприклад, для опису рельєфу топографічної карти на рівнинну територію достатньо 100 000 точок, в той же час модель GRID потребує їх мільйон.

Безпосередньо в середовищі програмного забезпечення об'єкт рельєфу представляється як редагована поверхня. Можна працювати з наступними типами поверхонь – Editable Mesh (Редагована сітка), Editable Poly (Редагована полігональна поверхня), Editable Patch (Редагована поверхня Безье), NURBS Surface (NURBS-поверхня).

Сітка складається з трикутних граней, але можна редагувати вершини, ребра, грані і полігони. Полігональна поверхня містить багатокутники (найчастіше чотирикутники), але можна редагувати поверхню на рівні вершин, ребер, границь і полігонів. Відмінність сітки Безье від звичайної сітки і полігональної поверхні полягає в тому, що мінімальний елемент її поверхні, який називається куском (patch), може бути достатньо великим за розмірами і мати викривлену поверхню. Регулювання форми його здійснюється за допомогою трьох чи чотирьох вершин, що обмежують його, і контрольних точок, що пов'язані з вершинами управляючими відрізками. Редагувати її можна на рівні вершин, ребер, кусків і контрольних точок. NURBS-поверхня

побудована на основі неоднорідних раціональних B-сплайнів. Вона має згладжену форму і найкраще підходить для відображення природних об'єктів, у тому числі і рельєфу. Як правило, рельєф в тривимірному редакторі опрацьовується як Editable Mesh (Редагована сітка) і Editable Poly.

Під час конвертації кожен тип представлення рельєфу заново перетворюється на той тип поверхні, яку підтримує вибраний файловий формат. Робота з різними типами сіток може здійснюватись тільки в середовищі тривимірного редактора. Під час виготовлення ЦМР відразу стають помітними всі помилки оцифровувачів (рис. 2).

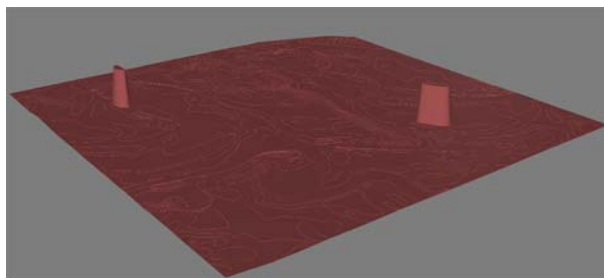


Рис. 2. Помилки оцифровувачів. 2 горизонталі мають на 100 м більшу висоту

Виготовлення і анімація рельєфу передбачає роботу з так званими бульвими об'єктами. Наприклад, русло річки отримано шляхом гідрографічної зйомки і є детальнішим, ніж оточуюча поверхня. В такому випадку об'єкт основного рельєфу має бути замкнутим, тобто мати об'єм. Інакше бульові операції не відбуватимуться коректно.

Висновки. Значення висот решти об'єктів карти отримуються з ЦМР. Саме вона визначає тривимірність моделі і якість цього продукту. Основним джерелом даних для створення ЦМР є географічні карти і результати зйомок.

Перспективи дослідження. На цьому етапі розвитку створення тривимірних картографічних моделей постають проблеми стандартизації виробничих процесів і отриманих проміжних результатів та узагальнення результатів досліджень. Також завжди актуальним буде питання наближення моделей до користувача і розробка доступних способів створення цих продуктів, для користування якими не потрібні навички програмування і відмінне знання багатьох програм.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бурштинська Х. В., Заяць О. С. Теоретичні основи та експериментальні дослідження

математичних функції для побудови цифрових моделей рельєфу // Вісник геодезії та картографії. – 2002 р. - № 4 (27). – С. 32-37.

2. Бурштинська Х., Дорожинський О., Зозуляк П., Заяць О. Цифрове моделювання рельєфу з використанням програмного пакету Surfer та геоінформаційної системи ArcGis // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2003 р. - № 63. – С. 193-201.

3. Бурштинська Х. В., Заяць О. С. Моделювання рельєфу земної поверхні із застосуванням колокації // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2003 р. - № 64. – С. 107-113.

4. Василюха І. Особливості цифрового моделювання складних типів рельєфу // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2007 р. - № 68. – С. 268-279.

5. Халиди А. Виртуальная реальность ФСК. На линии электропередачи в компании смотрят с дирижабля // Геодезия и картография. – 2008. - № 9. – С. 61-62.

6. Бурштинська Х., Василюха І., Коваль П. Технологія побудови цифрової моделі рельєфа для створення плану дна ріки // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2007 р. - № 69. – С. 135-144.

7. Андрейчук Ю., Ковальчук І. Застосування ГІС для аналізу рельєфу басейнових систем (на прикладі р. Коропець) // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2003 р. - № 63. – С. 193-201.

8. Ястребов А. И., Рогачев А. В. Модификация триангуляции Делоне для создания моделей рельефа // Геодезия и картография. – 2005. - № 1. – С. 29-31.

9. Макеев З. А. Основные типы рельефа земной поверхности в изображении на картах. – М.: Геоиздат. – 1945. – С. 15-69.

10. Кучеренко Г. М. Рельєфні карти // Вісник геодезії та картографії. – 2004 р. - № 2 (33). – С. 47-49.

11. Бурштинська Х. В., Заяць О. С. Дослідження точності побудови цифрової моделі рельєфу на основі картометричних даних // Вісник геодезії та картографії. – 2004 р. - № 2 (33). – С. 47-49.

12. Цись П. М. Геоморфологія УРСР. – Львів: Видавництво Львівського університету, 1962. – xx с.

13. Загорулько В. А., Хамарин В. И., Тябаев А. Е. Морфометрический анализ рельефа средствами ГИС-технологий (на примере Семинского перевала) // Геоморфология. – 2003 р. - №4. – С. 40-46.

14. Колбовский Е. Ю. Рельеф и экологическая организация территории: новые аспекты

ландшафтного планирования на местном уровне // Геоморфология. – 2004 р. - №4. – С. 21-32.

15. Фирсов Ю. Г. Цифровые модели рельефа дна в электронной гидрографии // Геодезия и картография. – 2008. - № 4. – С. 45-53.

16. Флоринский И. В. О точности в цифровом моделировании рельефа // Геодезия и картография. – 2008. - № 6. – С. 28-32.

17. Флоринский И. В. К 100-летию Тунгусского феномена. Цифровое моделирование рельефа в районе эпицентра // Геодезия и картография. – 2008. - № 8. – С. 20-22.

18. Юсов Е. А. Алгоритм фотореалистичного отображения рельефа путем комбинирования текстур, управляемого локальными особенностями поверхности // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2008. - № 2. – С. 158-165.

19. Казанский Б. А. Гипсометрический анализ континентов по цифровым данным // Геоморфология. – 2005 р. - №1. – С. 60-67.

20. Голяндина Н. Э., Усевич К. Д., Флоринский И. В. Анализ сингулярного спектра для фильтрации цифровых моделей рельефа // Геодезия и картография. – 2008. - № 5. – С. 21-28.

21. Рудий Р. М., Матищук А. В., Рудий М. Р. До питання врахування форм рельєфу при виборі траси повітряних ліній електропередачі в гірських районах // Вісник геодезії та картографії. – 2002 р. - № 4 (27). – С. 7-11.

Рецензент: к. г. н., проф. Шевченко В. О.

Дані про авторів:

Орещенко Андрій Васильович, аспірант III року навчання Київського національного університету імені Тараса Шевченка, географічний факультет.

тел. дом. 515-41-88,

тел. моб. 1: 098-456-90-20,

тел. моб. 2: 093-2044-236.