

## **СТАН ТРИВИМІРНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ В УКРАЇНІ ТА ІНШИХ КРАЇНАХ СВІТУ**

Розглянуто загальні риси розвитку картографії в Україні. Означено українське програмне забезпечення, що може використовуватись для створення тривимірних моделей місцевості. Описано основні класи тривимірних інформаційних продуктів.

**Ключові слова:** тривимірна модель місцевості, розвиток картографії, геопортал, ГІС, графічна програмна система.

**Вступ.** Розвиток тривимірного моделювання зумовлений перш за все економічною доцільністю його використання на виробництві і зручністю представлення результатів наукових досліджень. За допомогою тривимірних моделей можна отримувати реалістичні зображення, що дає можливість уникнути необхідності побудови матеріальних моделей. Крім того, віртуальному тілу можна надати довільних властивостей, які реальний об'єкт не здатний продемонструвати і зобразити те, що без тривимірного моделювання візуалізувати неможливо або економічно недоцільно.

**Аналіз останніх публікацій на цю тему.** Питання, що стосуються створення і використання тривимірних моделей розглядаються в багатьох публікаціях, які можна згрупувати так:

- оптимальність застосування тривимірних моделей [2, 5, 10];
- необхідність збільшення доступності і покращення читаності картографічних творів [22, 23];
- наведення конкретних прикладів роботи з тривимірними моделями і віртуальними картографічними творами [20], виклад особливостей їх функціонування [4, 8, 9, 26];
- впровадження передових технологій у виробництво [3, 21].

**Постановка проблеми.** Сучасне картографування і географію загалом

не можна уявити без тривимірного моделювання. Його бурхливий розвиток зумовлює деяку неузгодженість термінів і правильність вживання назв. **Метою** статті є перерахувати найбільш поширені технології виготовлення тривимірних моделей і програмне забезпечення для цього, а також визначити назви продуктів, створених з використанням цих технологій.

**Виклад матеріалу дослідження. Загальні риси розвитку сучасної картографії.** Протягом минулих років відбулися зміни, які встановили інші принципи створення, розповсюдження і використання геопросторової інформації. Стан картографії на сьогодні можна охарактеризувати за такими пунктами.

1. Масове проникнення інформаційних технологій в усі сектори збору, опрацювання та використання геопросторових даних. Комп'ютерні знання стали такими ж важливими, як і вихідна спеціальність. На виробництві вони використовуються одночасно.

2. Інтеграція картографічних і некартографічних засобів. Нова парадигма розвитку картографії – її інтеграція з геоінформатикою і дистанційним зондуванням [6]. Причина цього полягає не стільки у близькості методів, науково-технічних засобів і концепцій, скільки у їх відмінності: різні методи доповнюють один одного. Також картографія використовує досягнення інших наук – телекомунікації, математики і кібернетики.

3. Автоматизація і оптимізація виробничих процесів. Можна виділити 2 види автоматизації на виробництві – операційну і потокову. Операційна означає об'єднання кількох дій в одній. Наприклад, завантаження даних в ГІС включає автоматичне визначення проекції за метаданими і перерахунок координат у систему карти. Потокова автоматизація – це виконання визначеного переліку операцій з дискретними, але однотипними даними: комп'ютерна система за задалегідь визначеним алгоритмом послідовно обробляє всі файли, наприклад покращує контрастність цифрових фотознімків. Оптимізація виробничих процесів означає виключення тих операцій, які стали зайвими у зв'язку з переходом на нову технологію робіт.

Проте повної автоматизації картографічних робіт ще не досягнуто. На сьогодні існує чимало досліджень в галузі машинного виділення картографічних образів. Однак їх результати ще не сягнули такого рівня надійності й точності, щоб повністю замінити дорогої і трудомісткий процес дешифрування аерознімків і ручної векторизації сканованих карт [13].

4. Розширення асортименту продукції. Проте найбільший попит має невеликий її перелік.

До певної міри наслідком впровадження новітніх технологій є інші сторони картографічного виробництва.

5. Висока вартість картографічних робіт. Збільшення ціни на основні фонди, їх номенклатури і часу на освоєння, а також витрат на утримання фахівців і ускладнення технології виготовлення продукції – все це призводить до зростання вартості картографічних робіт. В свою чергу це зумовлює зменшення обсягу замовлень і простій виробничих фондів, що стає новим фактором менш гнучкої цінової політики підприємств. Також до цього додається наявність категорії таємних даних і даних для службового користування, що не дає можливості всім організаціям приймати участь у тендерах на виконання картографічних робіт, особливо у галузі крупномасштабного картографування.

6. Наслідком цього є наступна риса вітчизняної картографії – збільшення кількості робіт, які виконуються нефахівцями. Дійсно, доступність цифрових засобів та їх порівняно низька вартість, наявність безкоштовних даних зумовлюють можливість виконання картографічних робіт людьми без професійної підготовки. Можна зауважити, що ця риса характерна для більшості галузей господарства, де основним ресурсом є інформація.

7. Зниження якості виконання робіт і продуктивності праці. Перше відбувається через ускладнення технологій виготовлення продукції, зменшення часу на їх освоєння і низьку підготовку виробничих кадрів. Внаслідок цього виконавці витрачають багато зусиль на уточнення технології робіт, що лежить в основі зменшення продуктивності праці. Нефахівці не мають належних знань теорії картографії та ігнорують багато академічних дисциплін, в тому числі географію і математику [12]. Додатковим чинником зниження якості робіт є низька якість їх організації.

8. Використання великої кількості неліцензійного програмного забезпечення через відсутність контролю за його використанням, збільшення доступності і наочності даних для цих програм, а також кількості організацій, для яких виконання картографічних робіт не є основним профілем діяльності.

9. Паралельне використання на виробництві застарілих і новітніх технологій. Це зумовлено наявністю людей двох поколінь і старих фондів у задовільному стані та високою вартістю новітніх технологій і програмного забезпечення. Для тривимірних моделей це проявляється, наприклад, як використання растрових моделей ЦМР замість регулярних і триангуляційних сіток [9], передача будівель у вигляді паралелепіпедів, відсутність важливих елементів змісту.

Наприклад, автори статті [24] для районування територій застосовували цифрову модель рельєфу. Але такі тривимірні моделі відображають лише окремі компоненти території, тому з їх допомогою не можна прийняти точне рішення. Тобто це неправильно з географічної точки зору. Часто тривимірні моделі території містять тільки текстурований космічним знімком рельєф. Звичайно, він має важливе значення, але й інші компоненти ландшафту

повинні бути присутні. Тільки повнозмістову модель можна застосовувати для фізико-географічного та сільськогосподарського районування.

Тривимірна модель, описана в статті [9], містить растрову ЦМР і таку ж модель висот будівель, тобто фактично є растровою моделлю висот.

Можна зробити висновок, що будь-яка риза сучасного картографічного виробництва тісно пов'язана з іншими. Їх усі потрібно врахувати під час розробки технології створення тривимірних моделей. Ця технологія повинна бути відносно простою і орієнтованою на виготовлення типових тривимірних моделей місцевості (що забезпечить максимальний попит), а також передбачати якнайбільшу автоматизацію, розподіл праці і використання фахівців різного профілю і рівня підготовки.

***Генетична класифікація тривимірних моделей місцевості. Геопортали.*** Геопортал – це серверна система керування базою географічних даних і відображення багатшарової електронної карти, призначеної для використання в Інтернеті. Результатом роботи геопорталу є інтерактивна карта, яка з'являється у вікні web-оглядача. Вона створюється динамічно в процесі формування змісту Інтернет-сторінки. Під час роботи з інструментами навігації чи масштабування, або зміни тематичної інформації карта перебудовується заново.

Виділяють 2 види геопорталів у залежності від того, ГІС чи пошукова система є визначальною [1].

***ГІС-орієнтовані геопортали.*** Вони об'єднують різні шари растрових і векторних карт, покладених на загальну просторово-координатну основу і доступну для перегляду за допомогою web-браузерів.

***Пошукові машини з функціями ГІС.*** Фірми, що розробили пошукові технології – американські Yahoo! і Google, а також російська Yandex створили на їх основі багато web-сервісів, в тому числі картографічних. В їх середовищі карти, космічні знімки, тривимірні моделі поєднуються з іншими даними: довідниками адрес, бізнес каталогами і пошуковими системами. Пошукова машина дозволяє здійснювати швидкий і ефективний пошук по картам, а ГІС-технології використовуються для відображення даних. Найбільш популярні геопортали містять тривимірні карти і фотореалістичні моделі міст [1]. Далі коротко охарактеризовані найвідоміші геопортали, які здатні відображати тривимірні моделі.

***Карти Google (Google Maps).*** Сервіс дозволяє переглядати карту і супутникові знімки всього світу, а також Місяця і Марса. Він також містить бізнес-довідник і карту автомобільних доріг, яка охоплює території США, Канади, Японії, Гонконгу, Китаю, Великобританії, Ірландії і деяких районів Європи. З Google Maps пов'язано окрема програма Google Earth (рис. 1). За її допомогою можна переглядати космічні знімки Земної поверхні в тривимірному вигляді (із врахуванням рельєфу) і в перспективній проекції, а також плавно змінювати масштаб зображення [34]. Майже весь суходіл

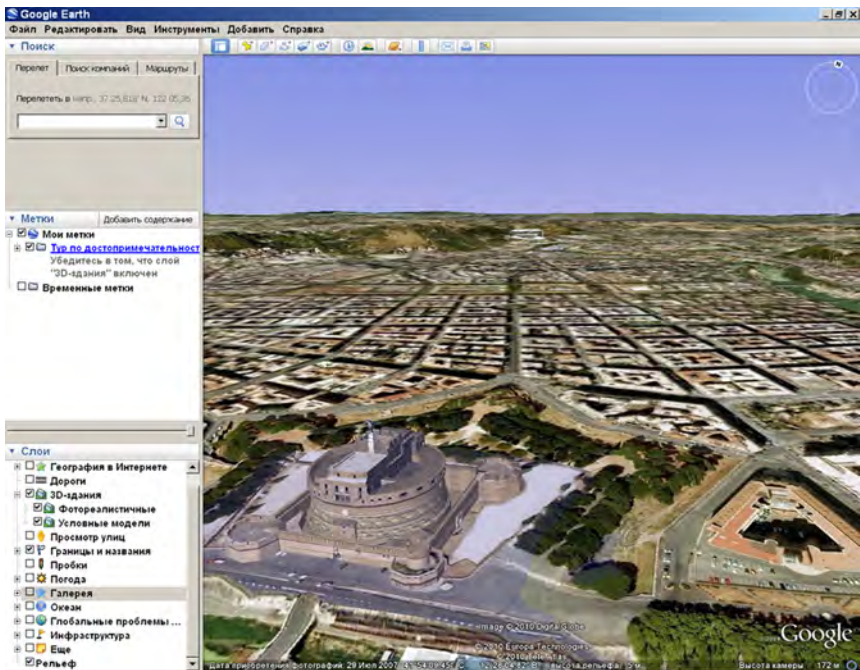


Рис. 1. Вигляд тривимірної моделі в Google Earth

покритий знімками з роздільною здатністю 15 м на піксель [35]. Наявна функція суміщення супутникових зображень з векторною картою [31].

*Bing Maps for Enterprise* (до 2009 р. – *Microsoft Virtual Earth*) – геопросторовий сервер, розроблений компанією Microsoft. Він багато в чому схожий з сервісом Google Maps: також дозволяє працювати з картами і космічними знімками, здійснювати пошук по карті, використовуючи географічні назви і атрибутивну інформацію, Ріса, яка його вирізняє – наявність тривимірних моделей міст, створених на основі перспективних аерознімків і фотографій фасадів будівель (рис. 2). Такі моделі створені лише для крупних міст США і кількох столиць інших країн (Париж, Лондон, Рим, Копенгаген та ін.) [1]. Open Street Map (Вільні дорожні карти), Kosmosnimki.ru, Яндекс.Карты, Visicom та інші геопортали на момент друку публікації функції тривимірного відображення місцевості не мали.

**Комп'ютерні картографічні навігаційні системи.** Це програмне забезпечення, що відображає спрощену топографічну карту і призначене для орієнтування на місцевості за допомогою електронних пристроїв – комп'ютерів і навігаторів. Зображення, яке створюють ці програми, є двовимірним, але деякі з них мають функції візуалізації карти в перспективі і окремих елементів змісту в тривимірному вигляді (рис. 3, 4). Найчастіше

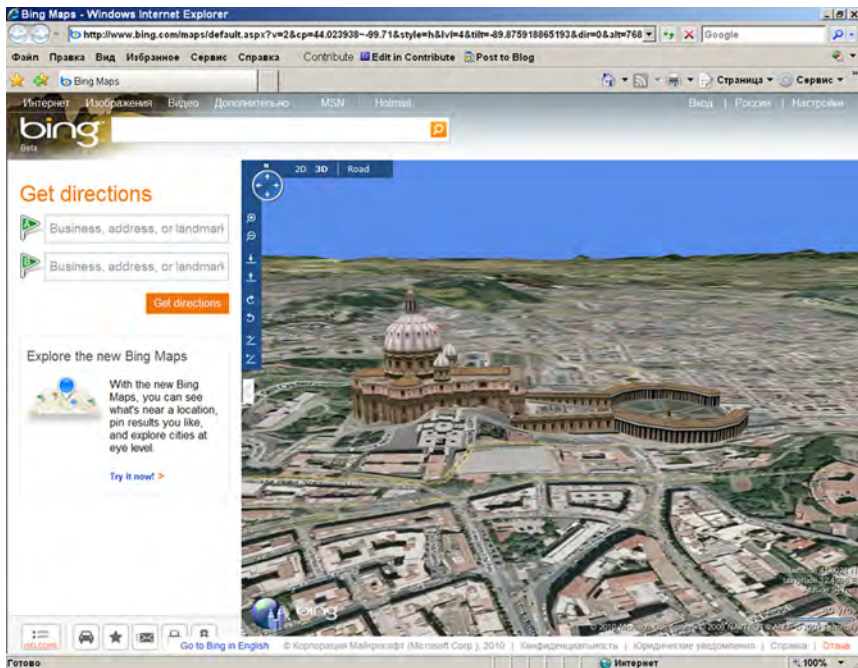
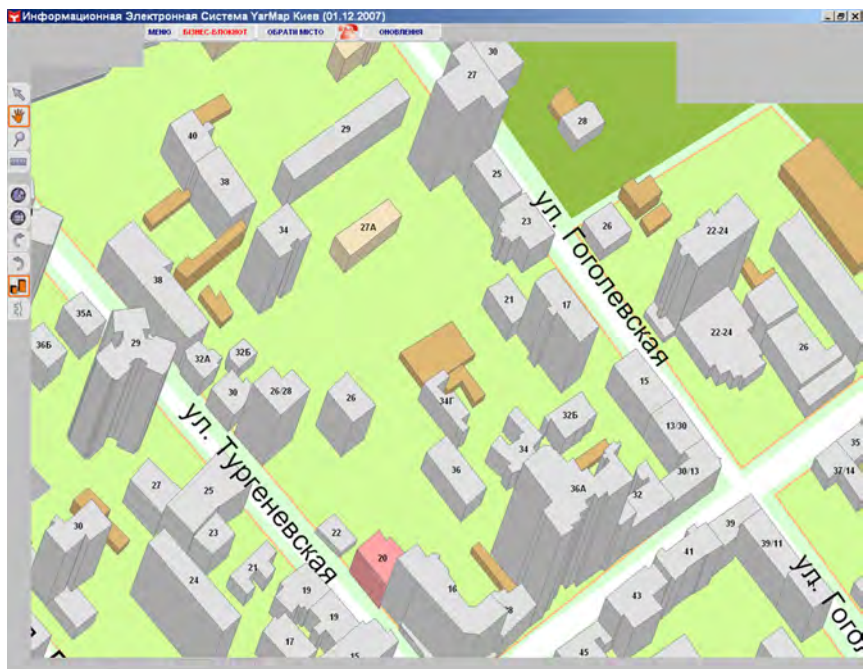


Рис. 2. Тривимірна модель в Bing Maps



Рис. 3. Тривимірна модель для навігатора



**Рис. 4. Тривимірна модель для персонального комп'ютера**

тривимірними є тільки будівлі. У версіях для малопотужних обчислювальних систем (портативних комп'ютерів і навігаторів) всі елементи змісту мають однорідну заливку, а для персональних комп'ютерів будівлі можуть бути з текстурями. До численних розробників навігаційних карт належать фірми Yandex, VisiCom, Navitel, Destinator, iGo, Автоспутник та ін.

**Графічні програмні системи (медіа-системи).** Вони встановлюються на комп'ютер користувача і дають можливість переглядати тривимірну модель території без використання інших програмних засобів. До складу таких продуктів входить картографічна основа, програмне забезпечення (або оболонка, що включає інтерфейс користувача і тривимірний движок), база даних, текстове наповнення і тривимірні моделі об'єктів [43]. Основна функція такої системи – це надання відомостей про значну за протяжністю територію, що реалізується за допомогою *картографічної основи*. Тривимірні моделі об'єктів представлені, як правило, на меншу територію, наприклад на обласний центр (рис. 5, 6). Їх відображення в режимі реального часу здійснює *тривимірний движок*, який перекладає візуалізацію з центрального процесора на відеокарту. За допомогою *інтерфейсу користувача* можна керувати програмою, а за допомогою *бази даних* – здійснювати пошук об'єктів і видавати довідкові дані про них.



Рис. 5. Медіа-система м. Курськ [43]



Рис. 6. Програмна система на м. Новосибірськ [44]

*Текстове наповнення* – це довідка з користування програмою, географічний чи історичний описи території тощо.

*Комп'ютерні ігри.* Розробники цього програмного забезпечення досягли відмінних результатів (рис. 7). Сучасні ігри відображають





**Рис. 7. Ландшафт комп'ютерної гри**

ландшафт з усіма його компонентами, реалізують анімацію і взаємодію останніх. Для ігор використовуються низькополігональні тривимірні об'єкти, а яскравість і якість зображення забезпечується за рахунок текстур. Текстурування об'єктів і прорисовку зображення можна розподілити між багатьма однаковими функціональними елементами відеокарти, що дозволяє виконувати візуалізацію об'єктів в режимі реального часу (30-120 кадрів за секунду). Сама гра складається з програмної оболонки, що забезпечує виконання команд користувача, графічного движка, який реалізує взаємодію з відеокартою і власне тривимірних моделей місцевості і персонажів, збережених у спеціальних форматах

***Моделі, створені в генераторах ландшафтів, редакторах тривимірної графіки і програмах для ландшафтного дизайну.*** Не дивлячись на різницю в назвах цих програм, моделі дуже схожі за структурою. Всі тривимірні об'єкти статично записані у файлі моделі, тому відразу завантажуються в пам'ять комп'ютера. Для перегляду моделі потрібно відкрити файл за допомогою тієї програми, в якій її було створено. За допомогою візуалізації можна отримати тільки статичні зображення і відеоряд. Проте більшість моделей створені саме для отримання серій зображень, тому використання цих програм виправдане.

В тривимірних редакторах створюються змістові одиниці для

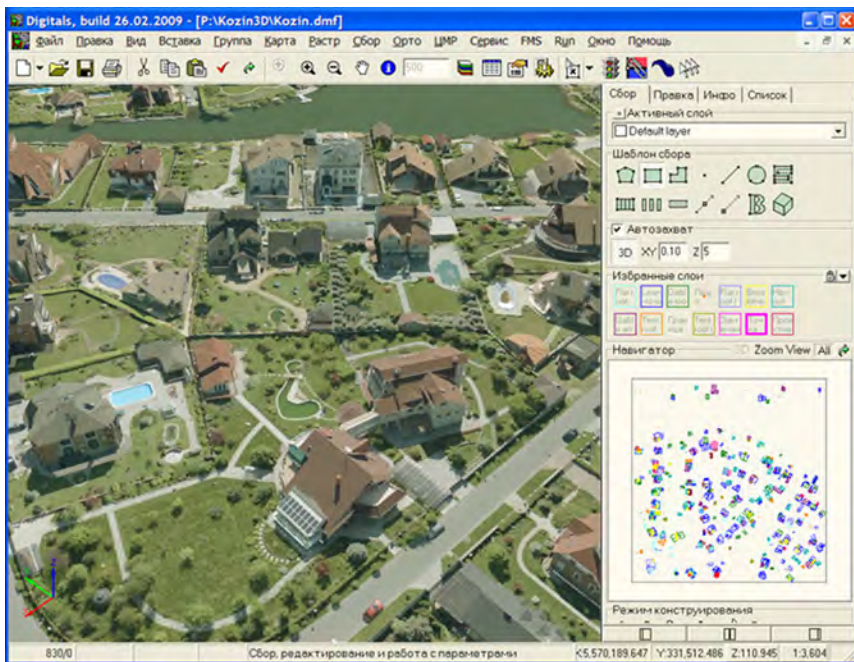
комп'ютерних ігор і графічних програмних систем. Генератори ландшафтів розроблені для швидкого отримання моделей природних територій, оскільки використання тривимірних редакторів потребує більше часу. Програми для ландшафтного дизайну створені для планування і візуалізації невеликих ділянок місцевості, які за площею відповідають присадибним ділянкам. Якість вихідного зображення доволі низька, але бібліотеки цих програм містять великий набір елементів змісту, зокрема рослин [39].

**Тривимірні моделі, виготовлені в геоінформаційних системах.** ГІС – це система для збору, зберігання, аналізу і графічної візуалізації просторових даних і пов'язаної з ними інформації. Системи дають можливість змінювати способи представлення даних. Саме ця властивість ГІС є головною в процесі побудови тривимірної моделі. Наприклад, з горизонталей можна отримати висотні відмітки і навпаки, а з цих двох типів даних – цифрову модель рельєфу, що виражена поверхнею. Заміна умовних позначень цифрової карти на тривимірні об'єкти – теж зміна способу представлення даних.

Найпоширеніші в топографо-геодезичній та картографічній діяльності – *комерційні ГІС загального призначення*. До них належать Digital, Панорама, ESRI ArcGIS, ERDAS Imagine та інші. Побудову тривимірних моделей забезпечують їх відповідні модулі Навігатор 3D, 3D Analyst і Virtual GIS.

В Україні для побудови тривимірних реалістичних моделей використовуються переважно іноземні програмні продукти. Вітчизняний продукт – Digital – придатний для вирішення задач геодезії, картографії і фотограмметрії [7], в його середовищі можна виготовити тривимірну карту, але не реалістичну модель місцевості. На такій карті всі умовні позначення мають три просторових координати, але не можуть бути представлені позначеннями, схожими на природні об'єкти. Тривимірними є тільки будівлі і ЦМР (рис. 8). Спочатку виготовляється ЦМР, яка текстурується аерознімками. Під час збору будівель потрібно оцифрувати їх дахи в стереорежимі за допомогою функції Digital «3D-даху». Тоді текстури автоматично призначаються їх стінам (тільки під час роботи з перспективними знімками, які отримані з поздовжніх і поперечних маршрутів за допомогою камери 3-DAS) [25]. Якщо ж використано тільки поздовжні маршрути з такою камерою, то в гіршому випадку можна отримати текстури тільки на 2 стіни будівлі, а не на 4.

Тобто Digital можна застосовувати для виготовлення тривимірних моделей забудованих територій. В ній можна отримати грубішу модель, але за менший час. Для порівняння, іноземне програмне забезпечення потребує індивідуального виготовлення текстур. Фотографують кожну стіну будівлі за допомогою фотоапарата, який оснащує фотографії просторовими координатами за допомогою вбудованого GPS-приймача. Потім фотографії обробляють в камеральних умовах, видаляючи випадкові об'єкти, які

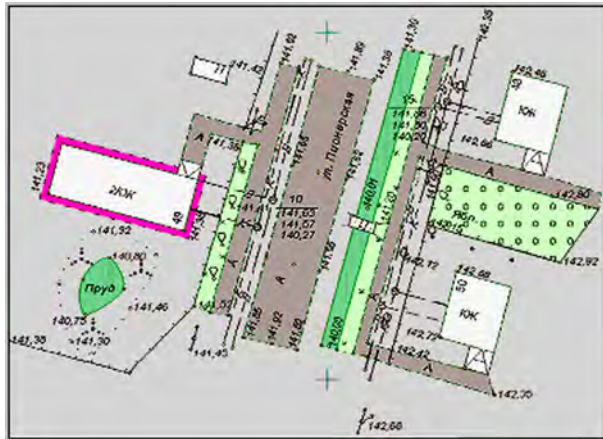


**Рис. 8. Вікно Digitalis**

потрапили на них – автомобілі, людей, рослинність тощо. Такі текстури прив'язуються в інтерактивному режимі з використанням координат GPS як допоміжних даних. Також Digitalis має функції вимірювання відстаней в тривимірному режимі і завантаження космічних знімків з картографічних інтернет-сервісів [33].

Не всі ГІС мають функції тривимірного моделювання. Наприклад, Credo – російська розробка для автоматизації процесів інженерно-геодезичних вишукувань і автоматизованого проектування. За її допомогою можна виготовити цифрову модель місцевості [38], тобто топографічну карту чи план (рис. 9), але не тривимірну модель, оскільки програма таких функцій не має.

Панорама – універсальна ГІС, призначена для створення і редагування електронних і цифрових карт, виконання вимірів і розрахунків за картами, операцій співставлення шарів, побудови тривимірних моделей, обробки растрових даних тощо. Тривимірна модель місцевості в цій програмі складається з поверхні, яка відображає рельєф місцевості і тривимірних об'єктів, що відповідають умовним позначенням. Поверхня рельєфу текстурується зображеннями електронної карти чи фотознімками. Модель дозволяє побачити як наземні, так і підземні об'єкти. Для її побудови



**Рис. 9. Цифрова модель місцевості**

потрібна бібліотека тривимірних позначень, які додаються в класифікатор карти. Принцип побудови моделі такий же, як і для іноземних ГІС: всім умовним позначенням, які є у вибраному шарі, ставиться у відповідність тривимірний об'єкт бібліотеки (класифікатора). Поверхня рельєфу генерується з горизонталей і висотних відміток. Будівлі, що виражаються в масштабі вихідної моделі (подані полігонами) перетворюються на паралелепіеди і текстуруються фотографіями їх стін. Зображення моделі з'являється в *Навігаторі 3D* Панорами, який забезпечує стандартні функції переміщення і масштабування моделі, а також налаштування освітлення (рис. 10). Візуалізація здійснюється в реальному часі з використанням OpenGL 1.1 [40].

На сьогодні відбувається процес взаємної інтеграції цих засобів і зміщення фокусу від використання ГІС-додатків як окремих програм до роботи з геоінформаційними даними без явної ГІС. Тобто ГІС-сервіс вбудовується у програму-оболонку (host program), якою може бути, наприклад, web-оглядач; в останньому з'являється додаткова інструментальна панель і в його середовищі можна працювати з даними. Тобто не потрібно встановлювати окрему громіздку програму, а лише плагін. Окрема програма розміщена на віддаленому сервері та обслуговує запити клієнтів. Відповідно такі ГІС називаються *серверними* і призначені для використання в Інтранет/Інтернет мережах. В них реалізовано принцип: все, що можна зробити в настільній ГІС, можна виконати і в серверній. Таким чином навантаження з клієнтських машин переноситься на сервер і, якщо робочих місць багато, це може бути раціональним. До таких ГІС належать ArcGIS Server, ArcIMS, Deegree, GeoServer і Mapserver.

Користувачі можуть доповнювати картографічний сервер новою



**Рис. 10. Тривимірна модель забудованої території, отримана в ГІС Панорама**

інформацією і користуватись наявною. Кілька спеціалістів можуть одночасно працювати над одним проектом, використовуючи обчислювальні потужності сервера, а не своїх робочих станцій. ГІС-сервіс може використовуватись різними програмами – не тільки оболонками (браузерами), але й дочірніми клієнтськими ГІС [15].

*Відкриті ГІС.* Це програми, що доступні для користування без необхідності придбання ліцензії. Їх установочні файли можна завантажити з Інтернет. Часто з ними постачаються вихідні коди, тому такі ГІС можна доповнити потрібними функціями.

Одною із таких систем є *GRASS*. Це гібридна ГІС із модульною структурою, яка може працювати як з растровими, так і з векторними даними. В ній є 4 режими роботи – введення, адміністрування, аналіз і презентація. Дані подаються в дво- і тривиміному вигляді, як на рис. 11. Вона підтримує типові для ГІС функції, в тому числі імпорт-експорт даних, перерахунок координат, роботу з проекціями, прив'язку растрів, просторові запити тощо. Має графічний інтерфейс. Крім створення тривимірних картографічних моделей, за допомогою *GRASS* можна спроектувати анімацію і отримати відеоряд. Для цих цілей призначений модуль *NVIZ*. Структура роботи типова: на тривимірну поверхню проектуються растри, векторні шари і точкові об'єкти. Вертикальний масштаб можна змінювати [27]. Сама тривимірна поверхня виготовляється з карти висот. *GRASS* розробляється з 1982 р. за ініціативи уряду США і науково-дослідних інститутів. Випущені версії, що працюють в середовищі операційних систем Microsoft Windows, Apple Mac OS X і Linux [36], [30], [28].



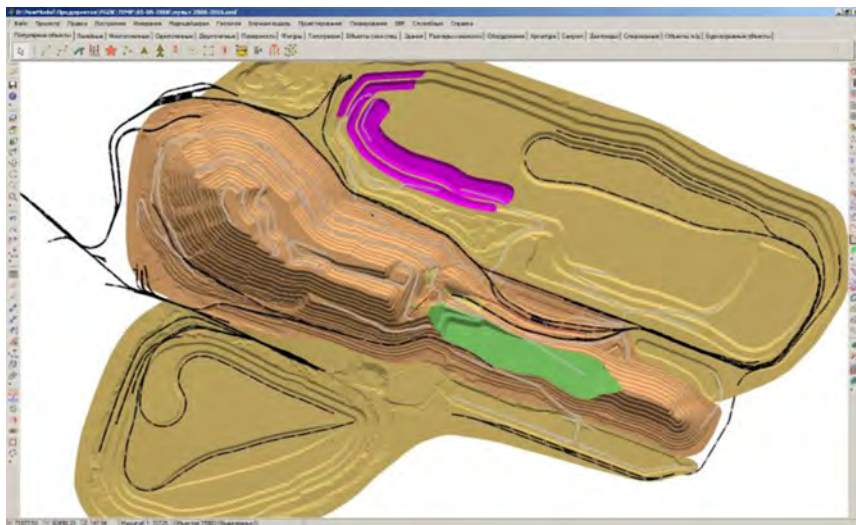
**Рис. 11. Приклад тривимірної картографічної моделі в GRASS**

GvGIS – ще одна вільна ГІС. Вона наслідує принципи роботи з Arcview, що робить простим її освоєння. gvGIS розвивається від урядового гранту Іспанії (транспортне міністерство Валенсії) з 2003 р. Перша версія вийшла в 2004 р.

Програма розробляється на мові Java і працює під Windows, Linux і OSX. Підтримує основні векторні формати: GML, KML, DGN, DXF, SHP, растрові BMP, WMF, TIF, JPEG, GIF, PNG і растрові з прив'язкою GeoTIFF, ECW, MrSID. Працює з базами даних PostGIS, ArcSDE, GeoBD, MySQL. Для програми розроблені модулі розширення, один з яких – *3D pilot* – відповідає за візуалізацію даних в тривимірному вигляді. За можливостями він дещо поступається 3D Analyst, хоч і є схожим на нього [29].

*Геоінформаційні системи на основі САПР.* До таких належить, наприклад, AutoCAD Map 3D. За їх допомогою можна в ручному режимі будувати тривимірні моделі територій. Проте слабкий візуалізатор забезпечує невисоку якість зображення, тому для виготовлення тривимірної моделі з подальшою візуалізацією потрібно скористатись редактором тривимірної графіки. Перевагою AutoCAD Map 3D є великий перелік обмінних форматів. Також в ній зручно здійснювати збір даних і працювати з топологією.

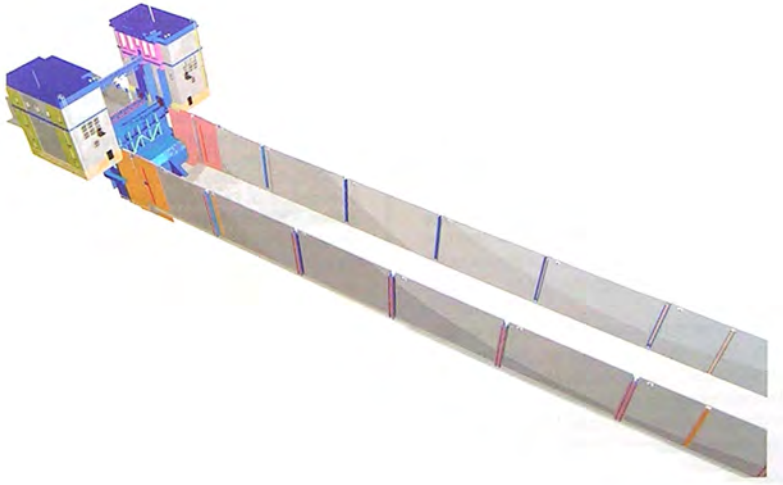
*Спеціалізовані ГІС з функціями тривимірного моделювання.* До них належать численні прикладні програми, найчастіше призначені для гірничо-видобувного виробництва і геологічного моніторингу. Вони мають



**Рис. 12.** Видяк вікна K-MINE і побудованого в ній кар'єра

окремі, досить обмежені функції тривимірного моделювання, найчастіше для роботи з поверхнями. Вихідними даними служать висотні відмітки або результати лазерного сканування. Одною з таких програм є K-MINE [18] (рис. 12). В ній для відображення даних використовується спеціальний тривимірний движок на базі OpenGL 1.1. Навігаційні функції представлені режимом із статичною камерою і рухомою сценою. Існує можливість конструювання тривимірних примітивів в просторі моделі і вимірювання довжин і кутів. ГІС працює з триангуляційними поверхнями, каркасними і твердотільними об'єктами, будує триангуляційну сітку з висотних відміток і горизонталей. Програма підтримує створення власних тривимірних позначень з графічних примітивів [42]. Ще один додаток – RockWorks – програма для інженерної геології [2].

**Моделі, виготовлені шляхом наземного лазерного сканування.** Використання лазерних сканерів передбачає побудову точних моделей в автоматичному режимі. Остання формується у вигляді хмари точок, які мають три просторові координати. Опіраючись на неї, в тривимірних редакторах, що постачаються разом із самим сканером, формують високополігональний каркас об'єкта. Такі моделі мають сантиметрову точність. Для визначення елементів зовнішнього орієнтування використовуються спеціальні світловідбиваючі марки, координати яких визначені геодезичними методами. За ними модель також масштабується і розвертається, після чого всі її точки набувають реальних координат. Серії таких моделей використовують, наприклад, для моніторингу деформацій споруд і будівель (рис. 13) [19].

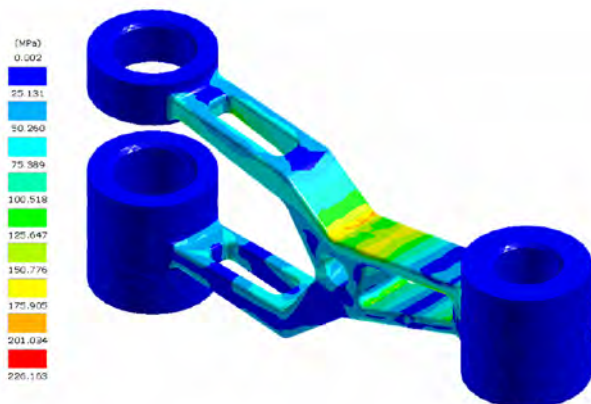


**Рис. 13. Тривимірна метрична модель Новосибірського судноплавного шлюзу, точність якої складає 5-6 см**

Лазерний сканер, пристосований для встановлення на літаку, формує достовірну ЦМР навіть під суцільною кроною дерев. За матеріалами такого сканування можна виготовити топографічні плани і карти в безорієнтовній місцевості [41].

**Твердотільні моделі.** Зображувальні засоби більшості тривимірних позначень (вершини, ребра, грані і полігони) передають тільки зовнішній вигляд цих тіл і не несуть інформації про їх механічні властивості і внутрішню структуру. Для твердотільної моделі можна визначити її масу і центр ваги, площу поверхні, побудувати плоскі креслення і аксонометричні проекції, роздивитись з усіх сторін. Існує можливість розрахувати напруги, деформації, здійснити частотний аналіз для визначення частот і форм коливань, теплові розрахунки для температурних деформацій і спотворень, а також аналіз міцності за умови її виготовлення з певного матеріалу. Твердотільні моделі окремих штучних компонентів ландшафтів можна використати для потреб геології, гідрології і будівництва з метою визначення стійкості гірських порід і моделювання можливих аварій. На рис. 14 показано результати оцінки коефіцієнта безпеки в програмі *SolidWorks*. У всіх сучасних системах твердотільного моделювання побудова тіла виконується за загальним принципом, який полягає в послідовному виконанні операцій створення, об'єднання, перетину і віднімання (операцій бульової алгебри) для об'ємних елементів. Цей процес подібний до створення моделі позначення в тривимірних редакторах. До програм твердотільного моделювання належить і російська розробка Компас-3D [32].





**Рис. 14.** Оцінювання коефіцієнта безпеки деталі

*Моделі, виготовлені за допомогою прикладних програм з функціями тривимірного моделювання.* До цього типу програмного забезпечення належать численні додатки, які працюють з просторовими даними і, як правило, мають модулі для представлення результатів роботи чи досліджень у тривимірному вигляді. Набір їх засобів найчастіше обмежується алгоритмами побудови тривимірних поверхонь і присвоєння їм матеріалів, що передають значення в кожній точці поверхні. До таких програм належать Surfer – додаток для інтерполяції просторових даних і візуалізації результатів наукових досліджень, а також системи комп'ютерної математики MatLab, MathCAD, Mercury, Euresa, Derive [14] тощо, програми для обробки статистичних даних.

*Художні тривимірні зображення.* Це найчисельніший вид тривимірних зображень місцевості, створених картографами, художниками, аніматорами, кіновиробниками та іншими фахівцями в час, коли технології цифрового тривимірного моделювання ще не були доступними. Ними використовувались різноманітні графічні, художні і конструкторські прийоми для отримання тривимірних зображень [37]. До таких належать блок-діаграми, отримані методами аксонометричного, афінного і перспективного проектування із застосуванням засобів тіньової пластики, перспективні малюнки, створені з використанням карт і аерознімків (рис. 15), псевдотривимірні зображення, виготовлені шляхом відеомонтажу тощо. Тільки спробувавши працювати такими методами, можна зрозуміти, наскільки простіше виготовляти тривимірні моделі за допомогою цифрових систем.

*Тактильні карти* теж є до певної міри тривимірними, однак побудовані вони за іншими принципами. Тактильна карта створюється на



Рис. 15. Алушта [37]

основі звичайної карти, для якої використовуються спеціально розроблені для сприйняття на дотик об'ємні умовні знаки і способи для специфічного відображення точкових, лінійних і площадних географічних об'єктів. Текст відтворюється знаками шрифту Брайля [11].

**Застосування.** Тривимірні реалістичні картографічні моделі можуть використовуватись в кадастрі, транспорті, навігації і туризмі, військовій справі, для освіти і навчання, в графічному дизайні, для створення комп'ютерних ігор, для наукових досліджень з використанням тривимірних моделей і для демонстрації результатів роботи. Вони також застосовуються для створення тренажерів, потреб традиційного кінематографа, телебачення й реклами, анімаційного кіно і мультиплікації.

Тривимірні реалістичні картографічні моделі можуть використовуватись там, де вже застосовуються традиційні картографічні продукти. Це планування розбудови міських територій, моніторинг стану споруд та об'єктів культурної спадщини, комплексне управління комерційними спорудами та їх інфраструктурою, збереження даних у тривимірних кадастрових системах, моделювання транспортних потоків

та їх удосконалення, моделювання наслідків можливих аварій і катастроф та аналіз можливих шляхів їх усунення, моделювання зон радіопокриття (наприклад, для згущення мережі мобільного зв'язку), питання навігації та безпеки країни тощо [17].

Важливим є застосування тривимірних моделей для передачі розташування підземних комунікацій. Особливо це актуально в містах, де їх густота дуже висока. Такі моделі дадуть можливість уникнути аварій під час ремонтних робіт.

Ще однією сферою використання тривимірних картографічних моделей може стати ринок землі і нерухомості. Від того, наскільки наочно і повно буде представлена продукція, залежить успіх підприємницької діяльності в цій області. Оскільки цей сегмент ринку швидко розвивається, зростає попит на послуги по інвентаризації і паспортизації об'єктів нерухомості. Актуальною стає задача удосконалення методів обміру будівель і територій та представлення обмірних креслень [16].

**Висновки і перспективи досліджень.** За півтора століття топографічні карти досягли високого рівня досконалості і в подальшому навряд чи будуть принципово покращені. В той же час науково-технічний прогрес надає нові можливості для відображення топографічної інформації. Тривимірні реалістичні моделі територій є новим способом представлення просторової інформації, який забезпечує сприйняття ландшафтів у формі, близькій до природної.

**Рецензент – доктор географічних наук, професор В. О. Шевченко**

#### **Література:**

1. *Артистов М.* Геопорталы: новая эпоха картографии // *Геопрофиль.* – 2009. – № 4. – С.: 24-29.
2. *Артистов М.* Программное обеспечение для инженерной геологии // *Геопрофиль.* – 2009. – № 5. – С.: 24-35.
3. *Барладин А. В.* Использование геоинформационных технологий в цифровом картографическом производстве // *Геопрофиль.* – 2009. – № 4. – С.: 16-23.
4. *Барладин О. В.* Навчальні електронні атласи та їх застосування у викладанні курсів географії // *Вісник геодезії та картографії.* – 2005. – № 1. – С.: 26-29.
5. *Беба Н. В.* Напрями вдосконалення картографічного забезпечення туризму в Україні // *Вісн. геодез. та картогр.* – 2005. – № 5. – 18 с.
6. *Берлянт А. М.* Современная парадигма картографии // *Український географічний журнал.* – 2006. – № 4. – с. 26.
7. *Бондарец А.* Digitals – землеустройство, геодезия и картография а едином программом продукте // *Геопрофиль.* – 2009. – № 2. – 22 с.

8. *Вилков А. Ю.* Электронный атлас МГУ на Ленинских горах // Геодезия и картография. – 2006. – № 1. – 32 с.

9. *Грачов О. Г.* Підготовка цифрових моделей місцевості для потреб радіопланування // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – № 4. – 50 с.

10. *Грузинов В. С.* Системные основы геоинформационного моделирования территорий // Геодезия и картография. – 2009. № 1. – С.: 51-54.

11. *Дельгадо А.* Развитие тактильной картографии за рубежом // Геодезия и картография. – 2009. – № 1. – 29 с.

12. *Дишлик О. П.* Неогеографія і майбутнє картографії // Український географічний журнал. – 2009, № 1. – 51 с.

13. *Дорожинський О., Гумська О., Черемис О.* Дослідження методів автоматичного дешифрування доріг на цифрових зображеннях знімків // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – № 63. – 113 с.

14. *Дьяконов В.* MATLAB: учебный курс. – С.Пб, Питер, 2001. – 214 с.

15. *Дядюн В.* ArcGIS Server – мощная серверная ГИС для использования в Интранет/Интернет-сетях // Геопрофиль. – 2009. – № 5. – С.: 46-49.

16. *Макаров А. А.* Построение трехмерных моделей зданий и сооружений для целей паспортизации объектов недвижимости // Геодезия и картография. – 2007. – № 11. – 40 с.

17. *Марков О. С.* Аналіз можливостей відкритих форматів обміну даними для збереження 3D-моделей забудованих територій // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – № 5. – С.: 30-31.

18. *Мельник А.* Перспективы комбинаторного использования технологий ГИС и САПР // Геопрофиль. – 2008. – № 5. – 44 с.

19. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования / Середович В. А., Широкова Т. А., Комиссаров Д. В. и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – 13 с.

20. Опыт инженерно-геодезических работ и внедрения ГИС в Одессе // Геопрофиль. – 2009. – № 5. – С.: 18-22.

21. *Остроух В. І.* Результати використання програмних та апаратних засобів комп'ютерної картографії на сучасному картографічному виробництві // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. – К.: ДНВП «Картографія», 2008. – Вип. 3. – С.: 200-203.

22. *Попов В. Ю., Говор В. ІІ.* Геоинформационные системы массового применения // Геодезия и картография. – 2006. – № 4. – с. 20.

23. *Рибак І. П.* Про тотожні риси розвитку картографії та живопису // Український географічний журнал. – 1996. – № 3. – 51 с.

24. *Рудий Р.* Про виділення за цифровою моделлю земної поверхні ділянок, сприятливих для сільськогосподарського виробництва // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва (погляд у ХХІ століття). – Львів, Ліга-Прес, 2001. – 122 с.

25. *Тетеря А. Н.* Опыт использования цифровой камеры 3-DAS-1 // Геопрофиль. – 2008. – № 1. – С.: 26-30 с.

26. *Черін А. Г.* Стандартизація геоінформаційних сервісів // Вісн. геодез. та картогр. – 2009. – № 4. – С.: 34-39.

### **Інтернет-джерела:**

27. Введение в практическое использование свободной ГИС GRASS 6.0. Версия 1.2 / [Под ред Otto Dassau]. – Hannover, 2005. – С. 83-88 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[http://gis-lab.info/docs/grass/tutorial60/gdf\\_grass60\\_v1.2\\_ru.pdf](http://gis-lab.info/docs/grass/tutorial60/gdf_grass60_v1.2_ru.pdf).

28. Учебное руководство по ГИС GRASS 6.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/docs/grass/tutorial60/index.html>.

29. Руководство пользователя gvSIG 1.1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/gvsig.html>.

30. Геоинформационная система Grass [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://grass.osgeo.org>

31. Картографічний сервіс “Карти Google” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.google.com>.

32. Сайт компанії Аскон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/?prcid=6#e6>

33. Електронна стаття “Digitals” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GIS>. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Digitals>

34. Електронна стаття “Google Maps” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Google\\_Maps](http://ru.wikipedia.org/wiki/Google_Maps)

35. Електронна стаття “Google Earth” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](http://ru.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

36. Електронна стаття “Grass” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GRASS>

37. Геозображення Алушти: рисунок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allkrim.ru>

38. Офіційний сайт компанії “Кредо-діалог” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.credo-dialogue.com>.

39. Генераторы ландшафтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gardener.ru/>.

40. Сайт компанії КБ Панорама [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gisinfo.ru/products/map2005\\_lin.htm](http://www.gisinfo.ru/products/map2005_lin.htm).

41. Технология трехмерного лазерного сканирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.injgeo.ru/rus/srv\\_lscan.html](http://www.injgeo.ru/rus/srv_lscan.html).

42. Геоинформационная система K-Mine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kai.com.ua/nc/products/k-mine.html>.

43. Тривимірна карта м. Курськ (Російська Федерація) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kurskmap.ru>.

44. Тривимірна карта м. Новосибірськ (Російська Федерація) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mircyber.ru>.

А. В. Орещенко

### **СОСТОЯНИЕ ТРЕХМЕРНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В УКРАИНЕ И ДРУГИХ СТРАНАХ МИРА**

Рассмотрено общие черты развития картографии в Украине. Упоминается украинское программное обеспечение, которое может использоваться для создания трехмерных моделей местности. Описано основные классы трехмерных информационных продуктов.

**Ключевые слова:** трехмерная модель местности, развитие картографии, геопортал, ГИС, графическая программная система.

A. Oreshchenko

### **3D MAPPING CONDITION IN UKRAINE AND IN OTHER COUNTRIES**

It is considered the general traits of cartography development in Ukraine. It is mentioned the Ukrainian software which can be used for creating the 3D terrain models. The main classes of 3D information products are described.

**Keywords:** 3D terrain model, cartography development, geoportal, GIS, graphic program system.

Надійшла до редакції 27 квітня 2011 р.