

УДК 528.9:631.1

Ковальчук І. П.

Національний університет біоресурсів і природокористування
України,

Іванов Є. А., Сулик Б. М.

Львівський національний університет імені Івана Франка

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНО-ГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ ПОСТМІЛІТАРНИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ДРУГОЇ ПОЛОВИНИ ХІХ СТ.)

Розглянуто можливості моделювання стану природно-господарських систем постмілітарних територій за допомогою геоінформаційних технологій. Подано методичні підходи створення цифрових моделей рельєфу для постмілітарних об'єктів. На прикладі Львівської Цитаделі і Нової Дубенської (Тараканівської) фортеці розглянуто підходи до ГІС-моделювання фортифікаційних споруд.

Ключові слова: моделювання, модель, план, рельєф, природно-господарські системи, постмілітарні території.

Актуальність поставленої проблеми. Протягом століть Західний регіон України відіграє стратегічне мілітарне значення та володіє добре розвинутою інфраструктурою військових об'єктів різного призначення. Серед військових об'єктів особливо цікавими є фортифікаційні споруди: фортеці, форти, замки, лінії оборони тощо. У регіоні збереглися фортифікаційні споруди XIV–XX ст. На жаль, сьогодні достовірно не відомо, скільки таких фортифікаційних об'єктів залишилося. Більшість об'єктів після того як втратили своє стратегічне значення були ліквідовані або закинуті або збереглися у незадовільному стані. Водночас, недостатньо інформації щодо стану їхньої збереженості. Окремі фортифікаційні комплекси сьогодні становлять особливу історико-культурну й архітектурну цінність, наприклад Кам'янець-Подільська, Хотинська і Дубенська фортеці, Луцький, Мукачівський, Олеський, Золочівський, Свіржський замки та

© І. П. Ковальчук, Є. А. Іванов, Б. М. Сулик

багато інших, здебільшого маловідомих фортець.

Вивчення стану постмілітарних територій, що приурочені до фортифікацій, сприятиме створенню чи збереженню пам'яток історії, архітектури і природи. Моделювання (в тому числі геоінформаційне) складних природно-господарських і беллігеративних систем дасть змогу оцінити їхній екологічний стан, спрогнозувати розвиток негативних природно-антропогенних процесів, сприятиме збереженню історико-культурних пам'яток.

Особливо цікавими маловивченими є фортифікаційні комплекси другої половини ХІХ ст. Прикладами таких фортифікаційних споруд є Львівська Цитадель та Нова Дубенська фортеця (Тараканівський форт). Ці комплекси фортифікаційних споруд виступили ключовими (модельними) ділянками для геоінформаційного моделювання природно-господарських систем постмілітарних територій. Їхня будова, властивості, місцезнаходження відображають тенденції розвитку фортифікаційної справи в Австро-Угорській та Російській імперіях [6]. Створені геоінформаційні моделі для цих фортець та приурочених до них постмілітарних територій сприятимуть подальшому комплексному оцінюванню стану збереженості фортифікаційних споруд та визначенню ступеня антропогенної трансформації навколишніх природно-господарських систем.

Методика геоінформаційного моделювання. У процесі вивчення стану навколишнього природного середовища науковці мають справу з ієрархією природно-антропогенних систем, до яких відносять й природно-господарські системи постмілітарних територій. Екологічний стан природно-господарських систем визначається складною взаємодією абіотичної, біотичної і техногенної підсистем [1]. Щоб проаналізувати стан геосистем постмілітарних територій, оцінити масштаб їхньої антропогенної трансформованості, спрогнозувати подальший розвиток негативних природно-антропогенних процесів необхідно створити модель стану і функціонування природно-господарських систем [5].

Геоінформаційне моделювання стану природно-господарських систем постмілітарних територій передбачає: 1) створення цифрових моделей рельєфу досліджуваних об'єктів; 2) побудову низки морфометричних, геологічних, геоморфологічних, ґрунтових та інших карт; 3) проведення польових робіт, які спрямовані на узгодження геопросторової ситуації, відображеної на картографічних матеріалах з результатами польових обстежень та даними дистанційного зондування; 4) побудову історико-географічних моделей, що відтворюють ситуацію на території фортів на момент їхнього створення; 4) аналіз сучасної структури землекористування та стану антропогенної трансформованості природно-господарських систем; 4) оцінювання небезпеки руйнування історико-культурних і природоохоронних об'єктів та пам'яток архітектури в межах постмілітарних

територій.

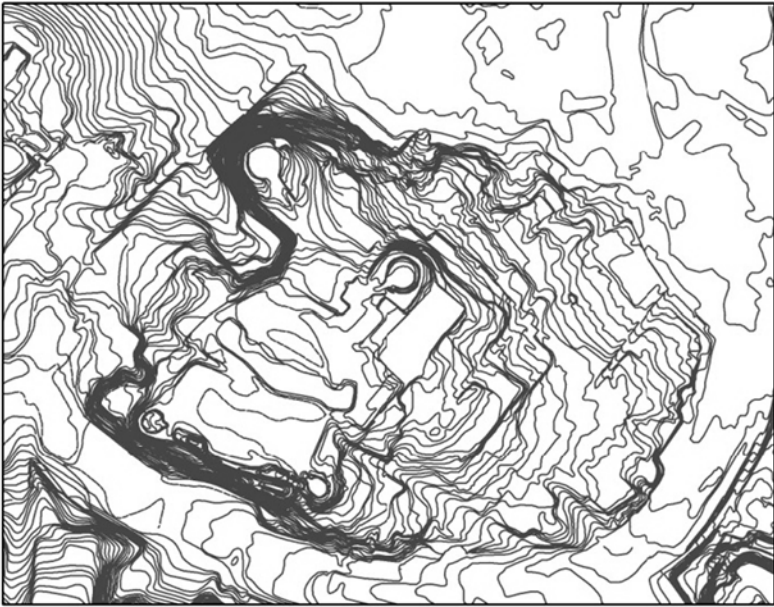
Відомо три способи візуалізації форм рельєфу [7]: 1) спосіб ізоліній, що відображає просторовий розподіл абсолютних висот; 2) модель нерегулярної мережі трикутників або *TIN (triangulated irregular network)*; 3) растрова модель рельєфу (*DEM – digital elevation model*).

Перший спосіб візуалізації форм рельєфу є найпоширенішим. Спосіб ізоліній вважають основою для застосування інших методик відображення рельєфу. Водночас, порівняння ізолінійних схем дає змогу охарактеризувати форми рельєфу довкола фортифікацій (рис. 1).

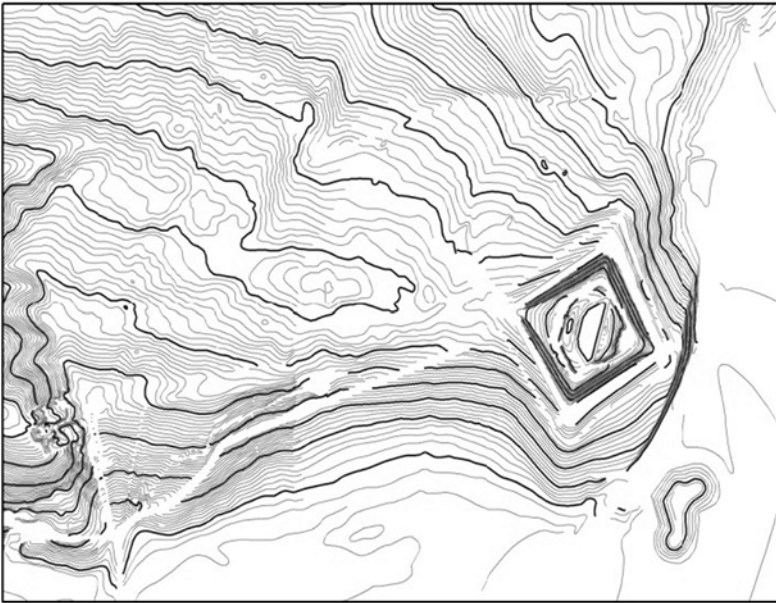
Моделі рельєфу *TIN* створено із застосуванням відповідного модуля *ArcInfo* з використанням ізолінійного шару. Ця модель є векторним покритвом. Недоліком моделі є передача реальних форм земної поверхні у вигляді блоків, не властивих для природної пластики рельєфу. Водночас такий тип моделей відзначається високою швидкістю побудови та малим розміром файлу [2]. Модель *TIN* найкраще підходить для зображення антропогенних об'єктів, зокрема самих фортець. Вона дозволяє детально відобразити елементи чи ділянки фортифікацій, які зазнали трансформацій внаслідок будівництва або військової експлуатації об'єктів. За допомогою моделі *TIN* краще відображати як самі фортечні споруди, так і різні види загороджень, а саме: вали, ескарпи, фосі, рови, траншеї, окопи та інші антропогенні утворення, яким непритаманна природна пластичність форм та які, від самого початку, служили штучними перешкодами для пересування ворога. Модель *TIN* дає змогу достовірніше відображати параметри штучних форм рельєфу (висоту, крутизну, ширину чи глибину), які в інших моделях вирівняні або виглядають згладженими (рис. 2).

Растрова модель *DEM* виступає безперервною множиною значень висот. Сьогодні цей спосіб відображення форм рельєфу є найпоширенішим, оскільки використовує не лише відмітки абсолютних висот, але й параметри напрямків стоку, вирівняні (плоскі) поверхні, пониження у рельєфі. Модель *DEM* надає зображенню рельєфу природних форм та відкриває можливості для підвищення точності морфометричного аналізу. Недоліком таких моделей є великий розмір файлів та неможливість отримання зображення великої чіткості при збільшенні (розтягуванні) моделі [3].

Моделювання стану природно-господарських систем фортифікаційних споруд. Для створення геоінформаційної моделі Львівської Цитаделі використано Генеральний план міста Львова масштабу 1 : 2 000. Геокодування й опрацювання карт-топооснов виконано за допомогою ГІС-програми *ArcGIS 9.0 (ESRI)*. За допомогою функції *Georeferencing* зображення постмілітарної території прив'язане до георектифікованого знімка з супутника *Quickbird-02*. Точність прив'язки склала 2,0 м. Наступним кроком стало створення бази геоданих, що містить два основних типи інформації: природні та антропогенні складові. До

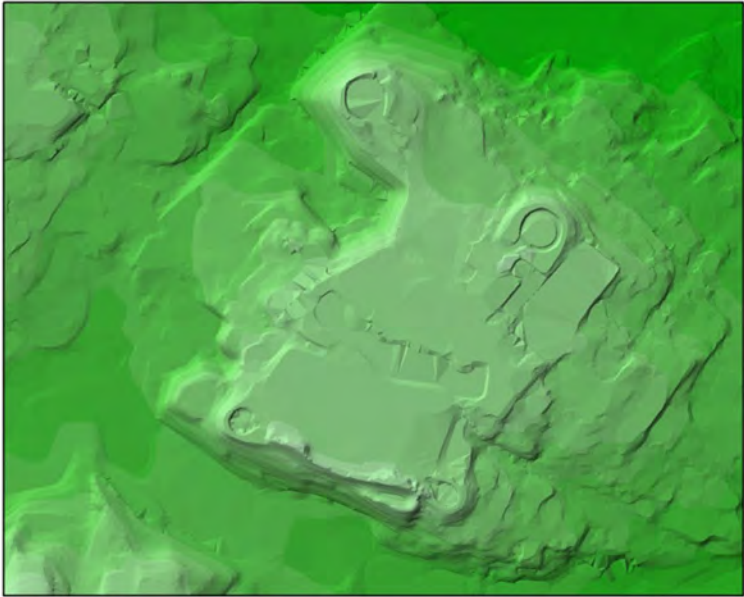


a)



б)

**Рис. 1. Відображення форм рельєфу способом ізоліній:
а) Львівська Цитадель; б) Нова Дубенська фортеця**



а)



б)

Рис. 2. Відображення форм рельєфу узгір'я Львівської Цитаделі за допомогою: а) моделі TIN; б) моделі DEM

природних складових бази даних належать рельєф, рослинний покрив, гідрографічні об'єкти. Основними антропогенними складовими бази даних є житлова і нежитлова забудова, дороги, комунікації.

Після створення бази геопросторової інформації проведено роботу над векторизацією плану постмілітарної території. Для кожного елемента у структурі моделі створено окремі тематичні шари. В першу чергу, оцифровано горизонталі та відмітки абсолютних висот. Суцільні горизонталі на плані проведено через 1,0 м, потовщені – через 5,0 м, проміжні – через 0,5 м. На гіпсометричну карту нанесено мережу доріг та стежок. Водночас здійснено типізацію цих об'єктів, сформовано відповідну атрибутивну базу.

Для території Львівської Цитаделі відома низка історичних карт. Перші інформативні карти для цього району з'явилися наприкінці XVIII ст. Це плани Львова і передмість 1770 р., зокрема «План столичного міста Червоної Русі Львова з околицями» (Plan La Ville de Leopole Capitale de la Russi Rouge avec les Feauxbourges), що виконаний в масштабі 1 : 2 800 і «Топографія міста Львова з передмістями близько 1770 р.» (Topographia Urbis Leopolis cum suis adjacentibus Suburbis, circa A 1770) – в масштабі 1 : 8 640. На жаль, план Львова 1770 р. неможливо прив'язати без значних спотворень самої картографічної основи. Проте вони є інформативними, оскільки на них відображено основні форми рельєфу, гідрографічні об'єкти, мережу доріг та забудову, частина якої дійшла до нашого часу практично без змін.

Придатними для геоінформаційного моделювання є картографічні основи «План міста Львова разом із його передмістями» 1828 р. (Plan der Stadt Lemberg sammt ihren Vorstadten) і «Львів з передмістями у 1844 р.» (Lemberg mit seinen Vorstadten im Jahre 1844) масштабу 1 : 7 200. Ці австрійські кадастрові плани виконано на якісно вищому рівні. Відображення карт після геокодування практично не зазнає змін, а спотворення у процесі прив'язки пов'язані із станом збереження карти (розривами, складками і всиханням паперу). Складніша ситуація із відображенням різноманітних форм рельєфу. В той час ще не набув поширення спосіб горизонталей і використовували метод гашур. Даний метод надає відомості про форми рельєфу та їхні розміри, але через схематичність відображення та відсутність відміток висот такими картами важко оперувати для створення точних геоінформаційних моделей тогочасної ситуації. Інформаційне насичення карт першої половини XIX ст. дає змогу зробити висновки щодо антропогенної трансформації природно-господарських систем у порівнянні з 1770 р.

Тривалий час Львівська Цитадель залишалася закритим військовим об'єктом та не була відображена на більшості планів другої половини XIX ст. Зокрема, вже на плані Львова 1863 р. «План Львова» (Plan von

Lemberg 1863), узір'я та розміщені на ньому форти стають фактично «білою плямою» на мапі міста, як і решта стратегічно важливих об'єктів. На пізніших картах форти позначені схематично як, наприклад на «Плані Королівського Столичного міста Львова 1877 р.» (Plan kr. stol. miasta Lwowa z uwzględnieniem powych nazw ulic i placów). Такі картографічні основи важко використати в наукових цілях, адже попри відмінну якість, на них не відображені військові об'єкти, а придатними для опрацювання залишаються прилеглі до них постмілітарні і селитебні території.

Великі фортифікаційні об'єкти впливають на навколишні території, які зазнавали введення обмежень щодо доступу на підконтрольний фортеці простір [4]. Обмеження стосувалися не лише забудови (не можна було використовувати камінь у будівництві та перевищувати чітко вказані розміри будівель, дозвіл на будівництво видавала лише комендатура фортець), але також на еспланаді було суворо заборонено вести будь-які земельні роботи, що могли змінювати рельєф. Спеціальні комісії періодично обстежували територію, на якій не повинно було виникати жодних від'ємних чи додатніх форм, розміри яких перевищували допустимі норми, аби супротивник не зміг використати їх як укриття.

Новіші плани Львова кінця XIX – початку XX ст., відображаючи зменшення рівня секретності Цитаделі, стали краще відображати комплекс фортифікаційних споруд, проте залишалися недостовірними. Такі карти, як «План королівського столичного міста Львова» (Plan królewskiego stołeczego miasta Lwowa) 1890, 1894, 1901, 1910 pp., виконані в масштабі 1 : 7 200, містять інформацію про просторовий розвиток прилеглих територій, за допомогою якої можна доповнити ряд геоінформаційних моделей в різних часових зрізах. З їх аналізу окреслюється «картина» просторової динаміки зовнішнього вигляду досліджуваної території. Ще одним важливим елементом цих карт є зображення зелених насаджень, які змінювалися в залежності від функціонування фортеці, та розвитку міських територій.

Цінним джерелами інформації слугують плани міста 30–40 років XX ст. Під час Другої світової війни, з перетворенням Львівської Цитаделі на табір військовополонених, в межах його території на планах не відображали нічого, окрім горизонталей і зелених насаджень, як, наприклад, на карті каналізаційних колекторів «Каналізація міста Львова» (Kanalisation der stadt Lemberg) 1942 р., що детально відтворює ситуацію у воєнні роки.

В цілому, для геінформаційного моделювання Львівської Цитаделі наявна різноманітна картографічна інформація, що представлена детальними планами. Властивістю цієї інформації є те, що не всі плани підходять для створення достовірних моделей, зважаючи на час їх виготовлення, способи генералізації та особливо на рівень секретності фортеці. Тому для відтворення ситуації на час виникнення фортеці варто



Рис. 3. Природно-господарські системи Львівської Цитаделі й околиць

додатково послуговуватися різними описам місцевості, історичними особливостями, різними видами зображень території (картини, гравюри, фотознімки). Також окремі елементи фортеці, такі як вали та ескарпи, погано відображені на сучасних картах, їх залишки важко ідентифікувати без натурних спостережень.

Вихідним матеріалом у процесі моделювання іншої модельної ділянки є карта еспланади Нової Дубенської фортеці «Форт Загірці та околиці» 1932 р. (Fort Zahorce i okolice) масштабу 1 : 2 500. Знімальні роботи для створення топооснови проводилися з 1 листопада до 15 грудня 1931 року. Для проведення топографічної зйомки територія довкола форту поділена на сім неоднакових за розмірами ділянок, закріплених за відповідальними офіцерами-геодезистами[8].

Для орієнтування на плані вказано магнітний азимут станом на 10 листопада 1931 р. Суцільні горизонталі проведені через 1,0 м, потовщені – через 5,0 м, проміжні – через 0,5 м. Спеціальними значками вказано пункти полігонометричного ходу з вказаними їхніми абсолютними висотами з точністю до 0,01 м. Більшість пунктів полігонометричного ходу розміщені вздовж доріг, залізниці, по краях території зйомки та на домінуючих висотах. З меншою точністю (до 0,1 м) абсолютні висоти вказано на топографічних пунктах, що майже рівномірно розміщені по всій території еспланади.

Мапа еспланади Тараканівської фортеці з великою точністю передає всі наявні на час її створення важливі для діяльності форту об'єкти, такі як забудова, дороги, залізниця, зелені насадження, характер місцевості, відмітки висот, окопи, траншеї, різноманітні дрібні форми рельєфу. Незважаючи на масштаб і точність карти, у процесі моделювання рельєфу виявлено ряд помилок, які спотворюють загальний вигляд моделі. Зокрема, на карті допущені помилки у позначенні абсолютних висот, що підтвердилося при польових дослідженнях території. Спосіб відображення ділянок з різким перепадом висот обривами змушує при створенні моделі рельєфу, окрім способу горизонталей використовувати додаткові інструменти, насамперед так звані роздільні лінії, що допомагають відобразити різкі зміни в формі поверхні. Також ускладнюють векторизацію зображення рельєфу території форту пошкоджені ділянки карти. Для вирішення цієї проблеми проведено додаткові польові обстеження.

Загалом, характерною особливістю фортів другої половини XIX ст. є поєднання глибоких понижень-ям із стрімкими підвищеннями внаслідок антропогенної трансформації ландшафтних систем чи штучно створених форм рельєфу (врізаних схилів, валів, ескарпів, ровів, фос).

Висновки. Геоінформаційне моделювання стану природно-господарських систем постмілітарних територій потребує комплексного підходу, в якому поєднуються різні типи джерел інформації (картографічні матеріали, гравюри, описи тощо). Особливістю досліджуваних фортів другої

половини ХІХ ст. є специфічний антропогенно трансформований рельєф, якому властиві різкі перепади висот, чергування підвищених ділянок рельєфу з пониженими. Найявністю сильно змінених ландшафтних систем чи штучно створених форм рельєфу (валів, ровів) під час моделювання таких інженерно складних об'єктів, як Львівська Цитадель та Нова Дубенська фортеця, зумовила необхідність застосування у геоінформаційних системах спеціальних підходів та інструментів.

Рецензент - доктор географічних наук, професор О. Г. Ободовський

Література:

1. *Адаменко О. М.* Інформаційно-керуючі системи екологічного моніторингу на прикладі Карпатського регіону / О. М. Адаменко // Укр. геогр. журн. – 1993. – № 3. – С. 8–14.

2. *Андрейчук Ю. М.* Застосування ГІС для аналізу рельєфу басейнових систем (на прикладі р. Коропець) / Ю. М. Андрейчук, І. П. Ковальчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – Вип. 63. – С. 183–187.

3. *Ковальчук І. П.* Моделювання стану природно-антропогенних систем з використанням ГІС-технологій / І. П. Ковальчук, Є. А. Іванов, Ю. М. Андрейчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2004. – Вип. 65. – С. 105–110.

4. *Савчук П.* Дубенський форт / Петро Савчук. – Рівне: Ліста, 2001. – С. 28–34.

5. *Сосса Р. І.* Історія картографування території України: від найдавніших часів до 1920 р. / Р. І. Сосса. – К.: Наук. думка, 2000. – 248 с.

6. *Яковлев В. В.* Современное состояние долговременной фортификации / В. В. Яковлев, С. А. Хмельков. – Ленинград : Военно-Техническая Академия РККА, 1926. – 137 с.

7. *Booth B.* Using ArcGIS 3D analyst: GIS by ESRI / Bob Booth // Environmental Systems Research Institute. – 2000. – Р. 94–98.

8. Map of the fort area Zahorce (Tarakanówka) in Dubna (province Wolyn): [карта]. – Режим доступу: <http://english.mapywig.org/viewpage.php>.

И. П. Ковальчук, Е. А. Иванов, Б. М. Сулык

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ ПОСТМИЛИТАРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX В.)

Рассмотрено возможности моделирования состояния природно-хозяйственных систем постмилитарных территорий с помощью геоинформационных технологий. Охарактеризовано методические подходы к созданию цифровых моделей рельефа для постмилитарных объектов.

На примере Львовской Цитадели и Нового Дубенского (Таракановского) форта предложены подходы к ГИС-моделированию фортификационных сооружений.

Ключевые слова: моделирование, модель, план, рельеф, природно-хозяйственные системы, постмилитарные территории.

I. Kovalchuk, E. Ivanov, B. Sulyk

MODELLING OF POSTMILITARY TERRITORIES NATURE-ECONOMIC SYSTEMS STATE (ON THE EXAMPLE OF THE XIX-TH CENTURY SECOND HALF FORTIFICATIONS)

Possibilities of postmilitary territories nature-economic systems state modeling using GIS technologies were considered. Methodical approaches of postmilitary objects relief digital models creation are given. The approaches of fortifications GIS modeling were reviewed on the example of Lviv Citadel and New Dybno (Tarakaniv) fortress.

Keywords: modelling, model, plan, relief, naturally-economic systems, postmilitary territories

Надійшла до редакції 3 листопада 2011 р.