УДК 528.3

І. ЗАЄЦЬ[1], І. КАЛИНИЧ[2], С. САВЧУК[3]

[1] Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, вул. В. Васильківська, 69, Київ, 03150, Україна, +38(044) 287 06 84
[2] Географічний факультет, Ужгородський національний університет, вул. Університетська, 14, Ужгород, 88000, Україна, +380 (0312) 64-03-54, ел.пошта: kalunu4@ukr.net
[3] Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. 0322-58-21-81, ел. пошта: ssavchuk@polynet.lviv.ua

РЕФЕРЕНЦНІ СИСТЕМИ КООРДИНАТ КОЛИШНЬОГО АВСТРІЙСЬКОГО КАДАСТРУ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

Кадастрові карти колишньої Австро-Угорщини є цінним вихідним матеріалом, що використовується у наукових дослідженнях у різних країнах. **Мета** цієї роботи – висвітлити можливості застосування даних колишніх австрійських кадастрових карт для аналізу землекористувань у карпатському регіоні після відповідного їх перетворення. **Методика**. Поштовхом до здійснення таких досліджень стало використання ГІС-технологій та інструментарію і, відповідно, методів, що ґрунтуються на аналізі даних кадастрових карт після їх числового перетворення. Для перетворення даних з кадастрових карт необхідна інформація про місцеву референцну систему координат та проєкцію еліпсоїда на площину. У карпатському регіоні, охопленому австрійським кадастром, використовували фрагменти трьох таких референцних систем: львівської системи (початковий пункт – Високий замок у Львові), віденської (початковий пункт – церква Св. Стефана у Відні) та угорської (початковий пункт – Астрономічна обсерваторія в Будапешті). Щоб уникнути помилок перетворення даних, координати точок кадастрової тріангуляції розраховували для різних областей в окремих системах. **Результати**. Запропоновано методику та розраховано параметри трансформування референцних систем координат. **Наукова новизна**. Розроблено методику, що забезпечує відповідну точність трансформування координат колишніх австрійських референцних систем в сучасний інформаційний простір. **Практична значущість**. Результати перетворення та трансформації координат можна застосовувати для аналізу історичних змін у просторовій структурі ландшафтів та навколишнього середовища, у вивченні сільських поселень, розвитку садово-паркового господарства, реконструкціях змін русла річок тощо.

Ключові слова. референцні системи координат, австрійські кадастрові карти, перетворення та трансформування координат.

Вступ

Основним компонентом будь-якої географічної інформаційної системи (ГІС) є база даних, яка повинна відповідати трьом основним характеристикам: просторова прив'язка (розташування об'єкта в цій референцній системі координат та топологічні взаємозв'язки), описові атрибути та часова прив'язка [Gregory I. N., Ell P. S., 2007]. Основні джерела в таких базах даних – аналогові або цифрові дані, які слугують основою для створення моделей просторових даних. Існує кілька типів джерел даних: польові вишукування та результати геодезичних вимірювань, дані дистанційного зондування Землі, статистичні дані тощо. Але основним джерелом даних, безсумнівно, є картографічні джерела, зокрема топографічні карти, плани, атласи, схеми та інші картографічні зображення, нанесені на папір, картон, плівку, пластик або інші носії. Такі дані необхідно спочатку перевести в електронний вигляд за допомогою сканування або цифрового фотографування. Отримані растрові зображення можна безпосередньо використовувати як шар карти в ГІС або векторизувати їх.

Використовувати саме топографічні карти як джерела вихідних даних для формування баз даних зручно й ефективно з певних причин. По-перше, атрибутивні характеристики мають геодезичну прив'язку у вигляді певної референцної системи координат, по-друге, в них немає пропусків, "білих плям" у межах зображуваного простору (території, акваторії тощо) і, по-третє, вже є безліч технологій переведення цих матеріалів у цифрову форму.

За такого підходу дуже важлива правильна геодезична прив'язка не тільки у разі використання у ГІС відсканованих паперових топографічних і/чи тематичних карт, але і у випадку роботи з векторними даними, а також використання даних дистанційного зондування. Під час роботи з даними дрібних масштабів (1: 1000 000 і дрібніше) чи роботи в межах однієї системи координат або проєкції значних труднощів не виникає. Але в разі переходу до даних великого масштабу, зміни проєкції, об'єднання в

одному проєкті даних з різних джерел, переходу від місцевих координат до глобальних ці проблеми постають: зображення об'єктів у одних шарах виявляються зміщеними щодо тих самих об'єктів у інших шарах. Саме тому можливості застосування даних колишніх австрійських кадастрових карт для аналізу землекористувань у карпатському регіоні пов'язані, переважно, з проблемою геодезичної сумісності топографічних карт різного масштабного ряду, різних референцних систем та проєкцій [Affek, A., 2013]. У зв'язку з цим теоретичні знання про процеси формування систем координат та переходу з однієї системи координат в іншу і практичні навички є наріжним каменем роботи з ГІС-технологіями.

Аналіз досліджень і публікацій, що стосуються цієї проблеми

Для розв'язування таких завдань у карпатському регіоні України використовують топографічні карти різного масштабу: 1:28 800, 1:50 000, 1:75 000, 1:100 000, 1:200 000 та 1:100 000, що охоплюють широкий часовий інтервал: австрійський період – (1879–1910 рр.), угорський період – (1928–1940 рр.), радянський період – (1976–1989 рр.).

Топографічні знімання періоду Австро-Угорщини є цінним джерелом географічної інформації у Центрально-Східній Європі. Картографічний матеріал цього періоду вважають одним з найкращих, ураховуючи його масштабний ряд, детальність та високу якість

У західній частині України перші топографічні знімання на основі побудови тріангуляційної мережі (визначення положення опорних точок за допомогою методу тріангуляції) з кінця XVIII – початку XIX ст. почала проводити австрійська військово-топографічна служба за довготривалими програмами (так звані перше, друге та третє топографічне знімання). Тріангуляційні роботи на цій частині території України (переважно в Галичині) Австрія розпочала ще в 1772 р. і вони тривали до початку XX ст. Топографічні знімання виконувались у масштабі 1:28 800. Рельєф зображували за дещо зміненою шкалою Lehmann.

Видані за результатами першого топографічного знімання (кінець XVIII – початок XIX ст.) карти будували на дещо примітивній геодезичній основі. У 1806 р. були розпочаті роботи з "другого знімання" території Австрійської імперії, які тривали до 1868 р. Топографічні знімання виконувало для військових потреб Австрійське генеральне квартирмейстерство, а з 1839 р. – Військово-географічний інститут у Відні. Їх проводили у масштабі 1:28 800 у поперечній проєкції Кассіні. Геодезичною основою знімань були пункти кадастрової тріангуляційної мережі. Паралельно з другим топографічним зніманням у 1817–1861 рр. виконувались кадастрові знімання, які спирались на пункти регіональних тріангуляційних мереж. Ці знімання стали основою для створення декількох спеціальних карт різних масштабів, зокрема і Військово-географічним інститутом.

У 60–90-х роках XIX ст. Військово-географічний інститут виконував роботи з оновлення тріангуляційної мережі. Для обчислення використовували розміри еліпсоїда Бесселя (з 1863 р.) і систему плоских прямокутних координат Кассіні. Координати пунктів обчислювали у системі плоских прямокутних координат. На території Австро-Угорщини було сім зв'язаних між собою таких пунктів. Наприклад, за початок системи координат у Галичині було прийнято пункт тріангуляції I класу, розміщений у Львові на горі Високий Замок, а для усього Королівства Угорщина була прийнята система координат з початком в астрономічній обсерваторії Gellerthegy в Будапешті. На основі оновленої тріангуляційної мережі у 1870–1886 рр. Військово-географічний інститут виконав так зване третє топографічне знімання, що охоплювало всю територію Австро-Угорщини. Знімання проводили у масштабі 1:25 000 і за його матеріалами у 1873–1889 рр. було видано "Нову спеціальну карту Австро-Угорщини і окупованих областей" масштабу 1:75 000, яку називали ще Генеральною штабною картою [Molnár, G., Timár, G., 2009]. Вся територія картографування була розділена за довготою на 35 колон (тут розмір аркуша карти становив 30') і за широтою на 37 зон (відповідно, 15'). Карти укладені в багатогранній проєкції на еліпсоїді Бесселя, з початковим меридіаном від Ферро. Та частина території України, що входила до складу Австро-Угорської монархії, була закартографована на 88 аркушах.

Картографічні матеріали третього знімання Австро-Угорської монархії були призначені, здебільшого, для військових потреб. Проте вони вже наприкінці XIX – на початку XX ст. не відповідали підвищеним вимогам з боку місцевих органів управління. Саме з метою господарських потреб в 1900 р. було розпочате "четверте знімання" Австро-Угорщини, під час якого почали використовувати точніші геодезичні прилади та оптичні віддалеміри. Для побудови карт була прийнята проєкція Мюфлінга [Snyder J. P., 1987], обчислена за елементами еліпсоїда Бесселя. З історичних причин (через початок Першої світової війни) четверте знімання, розпочавшись із території власне Австрії, до карпатського регіону практично не дійшло, хоч окремі аркуші нових карт масштабу 1:75 000 територію сучасного Закарпаття все ж частково охоплюють.

Мережу тріангуляції на території південної частини Закарпаття, як і на решті території Угорщини, побудовано між 1859 та 1907 роками. Цю мережу в Угорщині часто називають "старою" мережею

національної тріангуляції, це фактично продукт "третього знімання" Австро-Угорщини. Характерною її особливістю є те, що більшість пунктів цієї мережі є також частиною пунктів сучасних геодезичних мереж, тобто їх використано в подальших геодезичних роботах. Ця мережа охоплювала не тільки теперішню територію Угорщини, але й частину Словаччини, Закарпатську і частково Івано-Франківську області України, одну із земель сучасної Австрії, Воєводину в Сербії, прикордонну зону Румунії щодо Угорщини і невеликі частини Польщі, Хорватії та Словенії. Планові координати пунктів австрійського періоду цієї мережі підраховано в декількох системах відліку. Десь із середини XIX ст. використовували еліпсоїд Ferenca Zácha (від 1806 р.) та проєкцію Кассіні, а вже з 1874 р. плоскі координати пунктів задавали в угорській стереографічній системі на гауссівській сфері (Budapest Stereographic Projection). На початку цього періоду використовували еліпсоїд Вальбека, а трохи пізніше вже еліпсоїд Бесселя. У 1908 р. за пропозицією Antala Faschinga були введені три системи косих циліндричних проєкцій (північна, центральна і південна), у яких був один спільний осьовий меридіан, що проходив через Будапешт. Це було зроблено лише для зменшення спотворень, що виникали у стереографічній проєкції, хоч її і надалі використовували для обчислення координат мереж першого і другого класів, а для кадастрових робіт відповідну циліндричну проєкцію. Після закінчення Першої світової війни геодезичну мережу в новій Угорщині потрібно було відновити. У 1925 р. почали створювати окрему мережу тріангуляції тодішньої Угорщини (виконали спостереження на 93 пунктах), але з історичних причин її так ніколи і не закінчили.

Можливості застосування даних колишніх австрійських кадастрових карт для аналізу змін землекористувань, просторового управління, реконструкції історичних ландшафтів і адміністративних кордонів розглядали багато дослідників Австрії [Affek, A., 2013], Угорщини [Biszak, S., Timár, G., 2008], Польщі [Hanus, P., 2006], Словаччини [Boltižiar, M., Brůna, V., Křováková, K., 2008], Словенії [Podobnikar, T., 2010], Чехії [Čechurová, M., Veverka, B., 2009] тощо.

Ключовим елементом ефективного використання даних колишніх топографічних карт, від якого залежатиме корисність створюваної бази даних і строгість наукового висновку, є процес, за допомогою якого зазначені карти перетворюються з паперової форми в цифрову форму з векторним форматом. Цей процес складається з трьох етапів: сканування, геодезичної прив'язки та векторизації.

У цій статті основну увагу звернемо лише на етап "геодезичної прив'язки", оскільки розгляд інших етапів виходить за межі наукових інтересів авторів і є предметом багатьох досліджень. Зважаючи на те, що українська термінологія, яка стосується опрацювання карт – від паперових до цифрових форм – у сенсі "геодезичної прив'язки", не є усталеною, а в англійській мові широковживані терміни "georeferencing", тобто спосіб існування у фізичному просторі, та "rectification" – перетворення зображень у загальну систему координат карти, то у цій статті термін "геодезична прив'язка" буде використаний і визначений як процес, за допомогою якого скановане зображення растрової історичної карти можна трансформувати в цифрову растрову карту з координатами, визначеними в сучасній референцній системі відліку.

Постановка завдання

Порівняно з геодезичними прив'язками, що існують сьогодні, відповідна робота з колишніми (історичними) картами набагато складніша. Сучасні паперові карти найчастіше мають загальновідомі параметри проєкції еліпсоїда на площину, що ґрунтуються на геоцентричних/референцних системах відліку, з градуйованими координатними сітками.

Якщо якість вихідної карти задовільна, а її сканування виконується належно, то тоді досить визначити координати двох вибраних кутів карти і зареєструвати її зображення за допомогою трансформації Гельмерта (зсув, обертання, зміна масштабу). Єдине, що потрібно врахувати, – це відповідність/наявність/подібність референцної системи і проєкції сканованої карти базі даних відповідної ГІС-системи. Проте у випадку історичних карт процедура залежить від того, чи сформована карта на основі топографічних знімань від пунктів геодезичної мережі, в якій просторові взаємозв'язки встановлено за допомогою геодезичних вимірювань, редукованих на відповідний референц-еліпсоїд.

Тому основною метою цього дослідження є запровадження принципів географічної прив'язки історичних карт, основаних або не основаних на геодезичній мережі, на прикладі першого, другого і третього військових топографічних знімань карпатського регіону (колишніх провінцій Австрійської імперії), що сьогодні є частиною Західної України.

Виклад основного матеріалу

Карти, створені на основі першого топографічного знімання Габсбурзької монархії, відомого як Йозефінське знімання (Josephinische Landesaufnahme), малопридатні для отримання кількісних характеристик представлених об'єктів, оскільки вони не основані на геодезичній мережі. На той час (кінець XVIII ст.) лише декілька основних точок на території Галичини

визначалися методом тріангуляції. Тільки на окремі території детальне знімання виконували за допомогою компаса, лінійки і геодезичних таблиць, тоді як райони, менш важливі з військового погляду, були нанесені лише оковимірно. Польові абриси робили, рухаючись назад і вперед по місцевості, а відстані визначали за середнім розміром кроку коня. Не існує матеріалів, які б однозначно визначали математичні формули для проєктування даних на площину (проєкцію), але сучасні дослідники вказують на подібність з проєкцією Cassini. Сьогодні відомо, що максимальні похибки у розташуванні об'єктів перевищують 1 км. Проте, незважаючи на ці очевидні недоліки, карти, створені на основі першого топографічного знімання, вважають найдетальнішою і найякіснішою картографічною продукцією, виготовленою до кінця XVIII ст. Для геодезичної прив'язки карти, яка не ґрунтується на геодезичній мережі, потрібен референцний шар, тобто інша карта, вже урівняна із задовільною точністю. Наступним етапом є узгодження отриманого зображення із референцним шаром. Як референцний шар можна використати пізнішу карту (наприклад, із другого топографічного знімання) з геодезичною прив'язкою на ту саму територію. Для карт, які не основані на геодезичних мережах, прив'язка традиційно проводиться за допомогою наземних контрольних точок (вибраних характеристичних об'єктів), відображених на двох картах. Найкращими такими об'єктами для цієї мети є церкви, мости, перехрестя, значні незаліснені вершини, русла річок і струмків тощо. Точність геодезичної прив'язки (трансформації координат) безпосередньо залежить від точності вибору характеристичних точок і їх кількості. Правильно підібраний тип трансформації, а також правильно підібрані спільні точки дають можливість мінімізувати практично всі помилки (за винятком тих, що виникають під час польових вимірювань), обтяжені сканованою растровою картою колишнього австрійського кадастру [Molnár G., Timár, G., 2011]. Наприклад, для застосування трансформації сплайнового типу (кусковий поліном, який підтримує безперервність і гладкість між сусідніми поліномами) необхідно мінімум десять контрольних точок. Точність такої прив'язки становить декілька десятків метрів і для аналізу історичних змін у просторовій структурі ландшафтів, розвитку садово-паркового господарства, реконструкцій змін русла річок тощо малопридатна.

Перші карти, основані на деталізованих тріангуляційних вимірюваннях, з'явилися на початку XIX ст. і характеризувалися значно вищою точністю, ніж попередні. Це стосується тих робіт, що розпочалися з другого військового топографічного знімання Австро-Угорської імперії (Franziszeische Landesaufnahme).

У той час з метою формування геодезичних референцних систем координат, тобто створення геодезичного датума, необхідною умовою був вибір якогось із еліпсоїдів/сфери як відлікової поверхні, а його орієнтування виконували найпростішим способом: на одному з геодезичних пунктів ретельно визначали астрономічні величини: φ_0 – астрономічну широту, λ_0 – астрономічну довготу і a_0 – астрономічний азимут на один із сусідніх пунктів, які потім приймали відповідно як вихідні геодезичні величини: B_0, L_0, A_0. Незалежно від того, чи відображається математична поверхня Землі у вигляді сфери, чи еліпсоїда, її тривимірну поверхню необхідно перетворити на плоский лист карти. Таке перетворення, яке виконується за математичними формулами, називається картографічною проєкцією, а формули для зв'язку еліпсоїдних/сферичних координат із плоскими координатами є формулами відповідної проєкції. Оскільки такий зв'язок, особливо для поверхні еліпсоїда, є неоднозначним, то картографічних проєкцій достатньо багато. Якщо говорити про карпатський регіон в історичному аспекті, то тут використовували декілька картографічних проєкцій з різними параметрами: це проєкції Кассіні, Кассіні–Зольднера і Гаусса–Крюгера та їх модифікації [Mugnier, C. J., 2004].

Друге топографічне знімання Австро-Угорської імперії здійснювалося в 1806–1869 рр. у семи незалежних референцних системах координат, результатом стало картографічне представлення території на 2628 аркушах у масштабі 1:28 800.

Підставою для створення геодезичних референцних систем координат в Австро-Угорщині була заснована Військово-географічним інститутом тріангуляція тригонометрична, що складалася із рядів геодезичних пунктів першого і другого класів зі згущенням пунктами третього класу [MGI, Militar-Geographische Institut, 1902]. Для цілей картографування і кадастру використано проєкцію Кассіні–Зольднера. Для всієї території Австро-Угорщини було прийнято сім геодезичних референцних систем координат, в яких початки кожної системи визначали на підставі астрономічних спостережень [Timár, G., 2009]. Поділ території Австро-Угорщини на сім координатних систем був зумовлений тим, що спотворення у проєкції Кассіні–Зольднера дуже швидко збільшувалися із віддаленням від початкового пункту.

Частина сучасної території Західної України, що у ті роки входила до складу Австро-Угорщини, охоплювалася двома референцними системами: львівською і будапештською. Львівська референцна система, основана на мережі тріангуляції, охоплювала сучасні Львівську, Івано-Франківську, Тернопільську (крім

північної частини) області України і території сучасних Підкарпатського, Малопольського та південної частини Сілезького воєводств Польщі. Положення початкового пункту, розміщеного на вершині під назвою Високий замок у Львові, було визначено із астрономічних спостережень за вимогами тодішньої інструкції 1845 р. десь у 50-ті роки XIX ст. і віднесено як геодезичні координати відносно австрійського еліпсоїда (Bohnenberger, 1810). На цій вершині в 1875 р. в зв'язку із трьохсотлітньою річницею Люблінської унії насипано курган (*польс*. Kopiec). Після подальшої реконструкції цього оглядового місця там був також побудований новий пункт тріангуляції, який не відповідав колишньому нульовому пункту Львівської референцної системи координат. Цей новий пункт назвали Kopiec Unii Lubelskie.

Початком референцної системи координат, встановленої для території тодішньої Угорщини, був астрономічний пункт в обсерваторії Gellérthegy в Будапешті, застосовувалась проєкція Кассіні–Зольднера з характерними параметрами. Цю систему використовували практично до початку XX ст. [MGI, Militar-Geographische Institut, 1905].

Оскільки референцні системи координат в Австро-Угорщині формувалися подібно, то, як приклад, розглянемо львівську систему.

Для формування референцної системи координат, крім координат початкового пункту, необхідно прийняти розміри якогось еліпсоїда (велику піввісь і стиснення) та початковий меридіан. Оскільки основною проєкцією еліпсоїда на площині для Австро-Угорщини, як ми уже зазначали, було прийнято проєкцію Кассіні–Зольднера, то для її опису, окрім формул зв'язку геодезичних координат початкового пункту з його плоскими координатами (алгоритму проєкції), необхідними атрибутами повинні бути масштаб зображення в початковій точці й, можливо, зміщення координатних осей (False Easting – FE, False Northing – FN), тобто осей x, y нульових точок координатної площини, а також вказані одиниці вимірювання відстані. Всі зазначені параметри львівської референцної системи наведено у табл. 1.

Зважаючи на той факт, що частина пунктів колишньої тріангуляційної мережі Австро-Угорщини збереглася до нашого часу (нехтуючи заміною центрів на деяких пунктах), пропонуємо такий підхід до оптимального використання історичної інформації на колишніх топографічних картах з геодезичною прив'язкою.

Таблиця 1

Параметри Львівської референцної системи

Параметр		Значення
Еліпсоїд	Велика піввісь	6376600,717 м
	Стиснення	1/324
Початковий меридіан (Ferro)		–17°39'49" від меридіана Гринвіч
φ_0		49°50'57.00"
λ_0		41°42'32.19"
Масштаб		1,00
Зміщення FE (вздовж осі y)		0
Зміщення FN (вздовж осі x)		0
Одиниця довжини (віденський сажень)		1,89648384 м

Приймемо львівську референцну систему Австро-Угорщини за місцеву систему координат, а сучасну референцну систему УСК-2000 за державну систему. Зрозуміло, що плоскі прямокутні координати $x^м, y^м$ в місцевій референцній системі і $x^д, y^д$ в державній системі апріорі будуть різними внаслідок використання як різних еліпсоїдів, так і різних проєкцій чи їх параметрів. Якщо зважати на те, що координати початкового пункту міської системи визначені як природні координати із астрономічних спостережень і прийняті такими за геодезичні B, L, то очевидно, що на картах, складених у місцевій системі й у державній системі, координати B, L контурів будуть тими самими (у разі застосування однакового еліпсоїда). Відомо, що для державної системи УСК-2000 вихідною референцною системою була реалізація кінематичної загальноземної системи ITRS – ITRF2000, яка прямо зв'язана зі статичною європейською референцною системою ETRF2000. Відліковою поверхнею для цієї системи є еліпсоїд GRS-80. Приймемо, що координати початкового пункту Kopiec Unii Lubelskie для місцевої мережі задано саме у системі ETRF2000. Тоді, згідно з формулами проєкції Кассіні–Зольднера [Snyder, J. P., 1987], геодезичним координатам відповідатимуть плоскі прямокутні координати

$$x^м_{0\ теорет.} = 56,51 \text{ м},$$

$$y^м_{0\ теорет.} = 386,09 \text{ м}.$$

Наведені значення відрізняються від параметрів львівської системи, заданих у табл. 1. Ці різниці зумовлені відмінністю параметрів еліпсоїдів Бесселя і GRS-80. Тоді "теоретичні" параметри цієї референцної системи матимуть значення, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

“Теоретичні” параметри Львівської референцної системи

Параметр		Значення
Еліпсоїд	Велика піввісь	6378137 м
	Стиснення	1/298,257
Початковий меридіан (Гринвіч)		0
φ_0		49°50'55.2429"
λ_0		24°02'40.5684"
Масштаб		1.00
Зміщення FE (вздовж осі y)		386,09 м
Зміщення FN (вздовж осі x)		56,51 м
Одиниця довжини		метр

Отже, координати будь-якого *i*-го пункту, визначені у референцній системі ETRF2000, на підставі даних табл. 2 можна переобчислити у місцеву систему координат:

$$x_i^м = \left(x_i^{ETRF} - x_{0\ теорет.}^м \right),$$

$$y_i^м = \left(y_i^{ETRF} - y_{0\ теорет.}^м \right).$$

За такого підходу приймаємо ще дві додаткові умови:

1) осі координатних систем паралельні між собою;

2) масштабний множник між системами дорівнює 1.

Отримані координати $x_i^м, y_i^м$ можуть значно відрізнятися від фактичних координат місцевої системи унаслідок причин, пов’язаних із методикою їх реалізації. Тому головною умовою на наступному етапі залишається добитися мінімізації розбіжностей (у межах точності їх геодезичної основи) в координатах старої та нової систем координат і, відповідно, в наявних великомасштабних картах і планах, в інженерній та юридичній документації. Для цього потрібно на наявних пунктах місцевої мережі [Michałowski J., Sikorski T. 1932] виконати GNSS-спостереження і визначити їх координати у референцній системі УСК-2000/ETRF2000.

GNSS-спостереження на пунктах колишньої тріангуляції провели у 2012–2018 рр. студенти Національного університету “Львівська політехніка”. Для цього було вибрано 12 пунктів старої тріангуляції так, щоб вони більш-менш рівномірно покривали територію Львівської області відносно вихідного пункту – перманентної супутникової станції SULP. Радіус покриття пунктів спостережень становив близько 50 км. На усіх пунктах були проведені чотиригодинні GNSS-спостереження. Після опрацювання результатів спостережень похибки отриманих координат для більшості пунктів не перевищували 2 см. Наступним кроком стало трансформування цих координат до системи ITRF2000 на епоху 2005.0, а вже потім до референцної системи УСК-2000 та ETRF2000.

Таблиця 3

Статистичні характеристики результатів GNSS-спостережень на пунктах тріангуляції (ETRF2000-МСК)

Параметр	Значення	
Широта максимальна/мінімальна, °	49,9	49,3
Довгота мінімальна/максимальна, °	23,8	24,4
Різниця координат $x_i^м - x_i^{ETRF}$ макс./мінім., м	–121,38	–123,56
Сер. різниця координат, м	–122,24	
Станд. відхилення, м	0,98	
Різниця координат $y_i^м - y_i^{ETRF}$ макс./мінім., м	–385,63	–386,78
Сер. різниця координат, м	–385,98	
Станд. відхилення, м	0,24	

Як видно із табл. 3, амплітуда зміни різниць координат – близько 2 м, а стандартне відхилення досягає 1 м. Різниці координат достатньо складні щодо їх територіального розподілу.

Наведені оцінки стосуються лише реальних пунктів тріангуляції, а про точність відтворення характерних об’єктів, з якими найчастіше доводиться стикатися у історичних дослідженнях, навіть важко однозначно говорити. Проте, оскільки досягнута розрахункова точність на рівні метрів, можна сподіватись на ефективність цього підходу.

Тому, зважаючи на отримані результати порівняння координат та пріоритетне використання сучасних вимірювальних супутникових технологій, пропонуємо таку схему застосування даних колишніх австрійських кадастрових карт:

1. Встановити (прийняти) модифіковану місцеву референцну систему координат МСК+, яка б була основана на прямих зв’язках із загальноєвропейською референцною системою ETRF2000 та державною референцною геодезичною системою УСК-2000, тобто просторову місцеву систему координат.

2. Для збереження мінімальних розходжень “старої” місцевої системи МСК та нової МСК+ прийняти за основу проєкцію Кассіні–Зольднера еліпсоїда GRS-80 на площині з новими параметрами зміщення осей координат, використовуючи дані табл. 3.

3. Параметри нової місцевої референцної системи МСК+ прийняти такими, як наведено у табл. 4.

4. Визначення координат у новій місцевій системі проводити лише на основі супутникових методів (стандартна статика, RTK, VRS, PPP тощо) у

референцній системі ETRF2000, а відтак за допомогою відповідних перетворень та трансформувань приводити їх до державної референцної геодезичної системи УСК-2000 і місцевої системи МСК+. Жодних фізичних пунктів старої тріангуляції чи пунктів державної геодезичної мережі у такому разі не потрібно.

Таблиця 4

Основні параметри місцевої референцної системи координат МСК+

Параметр		Значення
Еліпсоїд	Велика піввісь	6378137 м
	Стиснення	1/298,257
Початковий меридіан (Гринвіч)		0
φ_0		49°50'55.2429"
λ_0		24°02'40.5684"
Масштаб		1,00
Зміщення FE (вздовж осі y)		385,98 м
Зміщення FN (вздовж осі x)		122,24 м
Одиниця довжини		метр

Висновки

1. Аналіз літературних джерел, що стосуються виявлення історичних змін у просторовій структурі ландшафтів та навколишнього середовища, дав змогу з'ясувати основні труднощі, що виникають під час розв'язання таких задач.

2. Запропоновано методичний підхід, який дає змогу, в результаті попереднього створення модифікованих референцних систем Австро-Угорщини, використовувати історичну інформацію старих топографічних карт у сучасних умовах.

3. Реалізація підходу не потребує використання наявних пунктів геодезичних мереж, що значно здешевлює польові роботи.

4. Застосування запропонованого підходу дає змогу підвищити точність подання історичної просторової інформації до метрового рівня.

Література

Affek, A. (2013). Georeferencing of historical maps using GIS, as exemplified by the Austrian military surveys of Galicia. Geographia Polonica, vol. 86, issue 4, pp. 375–390.

Biszak, S., Timár, G. (2008). Georeferenced gazetteers based on historical Central European topographic maps. Geophysical Research Abstracts 10: 01498.

Boltižiar, M., Brůna, V., Křováková, K. (2008). Potential of antique maps and aerial photographs for landscape changes assessment – An example of the High Tatra Mts. Ekologia [Bratislava] 27(1): 65–81.

Čechurová, M., Veverka, B. (2009). Cartometric analysis of the 1:75 000 sheets of the Third Military Survey of the territory of Czechoslovakia (1918–1956). Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 44(1): 121–130.

Gregory I. N., Ell P. S. (2007). Historical GIS: Techniques, methodologies and scholarship. Cambridge: Cambridge University Press, 227 p.

MGI, Militar-Geographische Institut (1905). Die Ergebnisse der Triangulierungen des K. U. K. Militärgeographischen Institutes: Triangulierung II. und III. Ordnung in Ungarn. III. Band. Kaiserlich-Königliche Hof- und Staatsdruckerei, Wien, 274 s.

MGI, Militar-Geographische Institut (1902). Results of the triangulations by the AustroHungarian Institute of Military Geography, Parts I–II (in German). Druck der Kaiserlich-Koniglichen Hof-und Staatsdruckerei, Wien, Abschnitt I: Geodatische Coordinaten, 138 s.

Hanus P. (2006). Ocena przydatności dokumentacji byłego Katastru austriackiego dla potrzeb prac geodezyjnych. Rozprawa doktorska. AGH Kraków 2006, 124 s.

Michałowski J., Sikorski T. (1932). Katalog punktów trygonometrycznych obejmujący współrzędne i wysokości punktów triangulacji szczegółowej wykonany przez Austrię, Niemcy i Rosję przed rokiem 1918 w granicach Rzeczypospolitej Polskiej. Główna Drukarnia Wojskowa, Warszawa, 247 s.

Molnár, G., Timár, G. (2009). Mosaicking of the 1:75 000 sheets of the Third Military Survey of the Habsburg Empire. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 44(1): 115–120.

Molnár G., Timár, G. (2011). Using of Grid Shift Binary (GSB) data to improve the geo-reference of the Third Military Survey of the Habsburg Empire. Geophysical Research Abstracts 13: 11861.

Mugnier C. J. (2004). Grids & Datums – Republic of Austria. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 70, pp. 265–267.

Podobnikar T. (2010). Historical maps of Ljubljana for GIS applications. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, vol. 45, no. 1, pp. 80–88.

Timár, G. (2009). The fundamental points of the Second Military Survey of the Habsburg Empire. Geophysical Research Abstracts 11: 02652.

Snyder J. P. (1987). Map projections – a working manual, United States Government Printing Office, Washington, 383 p.

M. ZAJETS[1], I. KALYNYCH[2], S. SAVCHUK[3]

[1]Research Institute of Geodesy and Cartography, 69, Velyka Vasylkivska str., Kyiv, 03150, Ukraine,+38(044) 287 06 84
[2]Faculty of Geography, Uzhhorod National University, 44, Universytetska str., Uzhgorod, 88000, Ukraine, +380 (0312) 64 03 54, e-mail: kalunu4@ukr.net
[3]Department of Geodesy and Astronomy Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38(032) 258 21 81, e-mail: ssavchuk@polynet.lviv.ua

REFERENCE SYSTEMS OF THE FORMER AUSTRIAN CADASTRE AND THEIR USE IN SCIENTIFIC RESEARCH IN THE CARPATHIAN REGION

Cadastral maps of the former Austro-Hungary are valuable source material used in scientific research in different countries. **The purpose** of this paper is to present the possibility of using the data of the former Austrian cadastral maps for analysis of land uses in the Carpathian region by their transformation. **Method**. The impulse for such studies was the use of GIS technologies and tools and, accordingly, methods based on the analysis of cadastral maps data after their numerical transformation. To convert data from cadastral maps, information is needed on the local reference coordinate system and projection. In the Carpathian region, covered by the Austrian cadastre, fragments of three such reference systems were used: the Lviv system (the initial point is the High Castle in Lviv), the Vienna (the initial point is the St. Stephen's Cathedral in Vienna) and the Hungarian (the initial point is the Astronomical Observatory in Budapest). **Results**. The method is proposed and parameters of transformation coordinate reference systems are calculated. **Scientific novelty**. A methodology is developed that provides the appropriate accuracy of the transformation of the coordinates of the former Austrian reference systems into the modern information space. **Practical significance**. The results of the conversion and transformation of coordinates can be used to analyze the historical changes in the spatial structure of landscapes and the environment, in the study of rural settlements, the development of landscape gardening, the reconstruction of riverbed changes, and so on.

Key words. Coordinate reference systems, Austrian cadastral maps, conversion and transformation of coordinates.

References

Affek, A. (2013): Georeferencing of historical maps using GIS, as exemplified by the Austrian military surveys of Galicia. Geographia Polonica, vol. 86, issue 4, pp. 375–390.

Biszak, S., Timár, G. (2008): Georeferenced gazetteers based on historical Central European topographic maps. Geophysical Research Abstracts 10: 01498.

Boltižiar, M., Brůna, V., Křováková, K. (2008): Potential of antique maps and aerial photographs for landscape changes assessment – An example of the High Tatra Mts. Ekologia [Bratislava] 27(1): 65–81.

Čechurová, M., Veverka, B. (2009): Cartometric analysis of the 1:75 000 sheets of the Third Military Survey of the territory of Czechoslovakia (1918–1956). Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 44(1): 121–130.

Gregory I. N., Ell P. S. (2007): Historical GIS: Techniques, methodologies and scholarship. Cambridge: Cambridge University Press, 227 pp.

MGI, Militar-Geographische Institut (1905): Die Ergebnisse der Triangulierungen des K. U. K. Militärgeographischen Institutes: Triangulierung II. und III. Ordnung in Ungarn. III. Band. Kaiserlich-Königliche Hof- und Staatsdruckerei, Wien. 274 s.

MGI, Militar-Geographische Institut (1902): Results of the triangulations by the AustroHungarian Institute of Military Geography, Parts I–II (in German). Druck der Kaiserlich-Koniglichen Hof-und Staatsdruckerei, Wien, Abschnitt I: Geodatische Coordinaten. 138 s.

Hanus P. (2006): Ocena przydatności dokumentacji byłego Katastru austriackiego dla potrzeb prac geodezyjnych. Rozprawa doktorska. AGH Kraków 2006. 124 s.

Michałowski J., Sikorski T. (1932): Katalog punktów trygonometrycznych obejmujący współrzędne i wysokości punktów triangulacji szczegółowej wykonany przez Austrię, Niemcy i Rosję przed rokiem 1918 w granicach Rzeczypospolitej Polskiej. Główna Drukarnia Wojskowa, Warszawa. 247 s.

Molnár, G., Timár, G. (2009): Mosaicking of the 1:75 000 sheets of the Third Military Survey of the Habsburg Empire. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 44(1): 115–120.

Molnár G., Timár, G. (2011): Using of Grid Shift Binary (GSB) data to improve the geo-reference of the Third Military Survey of the Habsburg Empire. Geophysical Research Abstracts 13: 11861.

Mugnier C. J. (2004): Grids & Datums – Republic of Austria. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 70, pp. 265–267.

Podobnikar T. (2010): Historical maps of Ljubljana for GIS applications. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica, vol. 45, no. 1, pp. 80–88.

Timár, G. (2009): The fundamental points of the Second Military Survey of the Habsburg Empire. Geophysical Research Abstracts 11: 02652.

Snyder J. P. (1987): Map projections – a working manual, United States Government Printing Office, Washington. 383 p.