

Національний університет “Львівська політехніка”

ЧЕТВЕРІКОВ БОРИС ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 528.92

**МЕТОДИ ОПРАЦЮВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТА КАРТОГРАФІЧНИХ
МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ОБ’ЄКТІВ ІСТОРИЧНОГО
СЕРЕДОВИЩА**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Дорожинський Олександр Людомирович,
завідувач кафедри фотограмметрії та геоінформатики
Національного університету «Львівська політехніка»

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор **Лященко** Анатолій Антонович, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії Київського національного університету будівництва і архітектури, м.Київ;
- кандидат технічних наук **Барладін** Олександр Володимирович, директор Інституту передових технологій, м.Київ.

Захист відбудеться «28» грудня 2015 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул.Карпінського, 6, ауд.502 II-го навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м.Львів, вул.Професорська, 1).

Автореферат розісланий «27» листопада 2015р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.

Б.Б.Паляниця

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Територія сучасної Європи загалом і України зокрема постійно піддається сильному антропогенному впливу: сільське господарство, промислова та житлова забудова, транспортне будівництво – все це істотно впливає на стан відомих і ще не виявлених історичних пам'яток. В Україні багато з них руйнується під час розорювання земель, будівництва нових об'єктів, перебуваючи в невиявленому чи мало дослідженому стані. Масштабні дослідження потребують використання значних сил і коштів як на етапі польових робіт, так і на стадії аналітичних процедур.

Застосування даних отриманих під час дешифрування аеро- та космознімків у поєднанні з використанням приладів глобального супутникового позиціонування (GPS) дозволяє ефективно виявляти й вивчати пам'ятки культури неруйнівними методами в умовах антропогенних змін.

Широке застосування методів фотограмметрії та дистанційного зондування для дослідження історичних об'єктів раніше стримувалося необхідністю використовувати складне та дороге обладнання, яке застосовувалося в картографії. На даний час ситуація кардинально змінюється завдяки широкому використанню цифрових знімальних камер, появою цифрових фотограмметричних станцій, доступністю GPS та розвитком відповідного програмного забезпечення.

Дослідженням об'єктів історико-культурного призначення (ОІКП) займаються в різних наукових галузях, серед яких ефективними є картографія та фотограмметрія.

Питання методології картографічного моделювання висвітлені у працях таких вчених: Козаченко Т., Пархоменко Г., Молочко А., Топчієв О., Лур'є І., Лютий А., Веденін Ю., Тікунов В. та інших.

Принципи складання карт культурного та природного надбання регіонів подано у працях Бондарчука С. та Парамонова А. Особливості картографування культурного та природного надбання територій відображено у працях Броннікова В., Зеленцова І., Коробова А., концепцію використання геоінформаційних систем для збереження об'єктів історико-культурної спадщини опубліковано у працях відчизняних вчених Дишлика О., Макарова С., Ясінського М., Беглецової С., Князевої Л., Телегіної М. Застосуванням фотограмметричних та космічних методів дистанційного зондування земної поверхні для збереження об'єктів культурної спадщини займались вчені: Гнера В., Пойдебард А., Шмідт Е., Толстов С., Орлов М., Ігонін Н., Андріанов Б., Мейєр Н., Кривонозов І., Шишкін К., Дорожинський О., Колб І., Барладін О., Лященко А. та інші. Збереженням об'єктів історичного середовища за архівними аерознімками займалися закордонні вчені, а саме Arnoud de Boer, Bartonek D., Garouani A. El, Alobeid A., Matejicek L., Matoušek V., Remondino F. та інші.

Зараз надають увагу забезпеченню ОІКП картографічними матеріалами, що суттєво впливає на їх подальше детальне вивчення та збереження для нащадків. Проте за умови всесвітньої кризи цей процес не може знайти можливості для повної реалізації. Приблизно з початку 90-х рр. формуванню напрямку великомасштабного

тематичного картографування ОІКП надають все більше уваги, постає питання про необхідність формування геоінформаційної бази даних ОІКП на державному рівні.

Картографування об'єктів історико-культурного призначення має свою специфіку залежно від територіального рівня їх представлення – глобального, державного (національного), регіонального та локального.

На даний час велика кількість організацій в Україні, як історичного так і геодезичного спрямування, зацікавлені у створенні проектів пов'язаних із збереженням об'єктів історичного середовища, що підтверджує безперечну актуальність даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрямок пов'язаний з виконанням досліджень кафедри фотограмметрії та геоінформатики Національного університету "Львівська політехніка" за темою "Розробка та дослідження методів фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій для кількісної та якісної оцінки явищ, об'єктів і процесів". Також робота виконана в межах НДР «Теоретико-експериментальні засади побудови кадастрових систем для моніторингу рекреаційних територій на базі дистанційного зондування та ГІС-технологій», яка була предметом досліджень у Львівській політехніці у 2011-2012 рр. (№0111U001220). Дослідження здійснено також в рамках проекту 511322-TEMPUS-1-2010-SE-JPCR «Географічні інформаційні технології для сталого розвитку в Східних сусідніх країнах» (GIDEC) (2010-2013 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень визначено теоретичне обґрунтування та практичну реалізацію методики комплексного опрацювання даних дистанційного зондування і картографічних даних для збереження культурної спадщини України.

Реалізація поставленої мети передбачає вирішення таких завдань:

- теоретичне обґрунтування доцільності використання даних космічних знімальних систем високого і надвисокого просторового розрізнення для картографування нерухомих об'єктів культурної спадщини;
- визначення оптимальної математичної моделі геометричної корекції для космічних знімків, отриманих з супутників GeoEye-1 і QuickBird;
- розробка комп'ютерної технології встановлення меж історичних об'єктів та способу їх відображення на сучасних картографічних матеріалах;
- дослідження технології обробки різночасових даних аерокосмічного знімання для визначення стану територій та руйнації історичних об'єктів.

Об'єктом досліджень є архівні і сучасні картографічні матеріали та аерокосмічні зображення історичних і архітектурних пам'яток.

Предметом досліджень є методи і технології опрацювання зображень та картографічних матеріалів історичного та архітектурного середовища.

Методи досліджень. Проведені дослідження ґрунтуються на результатах теоретичних та технологічних наукових розробок, що мають важливе та принципове значення для розв'язання сформульованих задач дисертаційної роботи.

Дослідження проводились на основі міждисциплінарного підходу з використанням досягнень таких наук та дисциплін як математика, геодезія, географія, дистанційне зондування, геоінформатика, фотограмметрія, картографія.

У роботі використано методи теоретичних та експериментальних досліджень. Зі сфери аналітичних досліджень застосовано порівняльний аналіз та математичне моделювання. При здійсненні експериментальних досліджень використано методи з картографії, фотограмметрії, аерокосмічного зондування Землі та технології ГІС.

Наукова новизна одержаних результатів. Найсуттєвіші теоретичні та практичні результати досліджень, що характеризують наукову новизну, такі:

- вперше опрацьовано геоінформаційну технологію для встановлення історичних меж об'єктів культурної спадщини, яка базується на використанні архівних аерознімків та картографічних матеріалів (на прикладі Бабиного Яру та прилеглих до нього Караїмського, Мусульманського, Християнського та Єврейського кладовищ);
- створено методіку побудови історичних ситуаційних карт та планів з поєднанням результатів інтерпретації архівних аерознімків та письмових свідчень очевидців історичних подій;
- досліджено і визначено оптимальні математичні моделі для геометричної корекції супутникових зображень надвисокого просторового розрізнення (GeoEye-1 та QuickBird);
- за даними космічного знімання опрацьовано методіку автоматичного визначення руйнацій історично значущих споруд внаслідок стихійного лиха;
- створено універсальну геоінформаційну методіку картографування історичного середовища з широким набором вхідних даних (архівні картографічні матеріали, архівні аерознімки, дані космічного знімання, сучасні картографічні матеріали).

Практичне значення отриманих результатів. Вперше створено графічну документацію з визначення динаміки змін меж урочища Бабин Яр та прилеглих до нього кладовищ. Цю документацію передано Міністерству культури України та Громадському комітету для вшанування пам'яті жертв Бабиного Яру з метою створення однойменного заповідника згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 року «Про створення в установленому порядку державного історико-культурного заповідника «Бабин Яр»».

Створено графічну документацію з визначення зон масових поховань військовополонених концентраційного табору Stalag-328 (Цитадель, Львів), на основі якої виготовлено і затверджено Паспорт об'єкта культурної спадщини, що стало підставою для Президента України накладити заборону будівельних робіт в межах території колишнього концтабору. Дана територія занесена до Державного реєстру нерухомих пам'яток України за категорією місцевого значення – об'єкти культурної спадщини, згідно з наказом Міністерства культури і туризму України №957/0/16-10 від 25.10.2010.

Запропоновано методіку використання космічних зображень для визначення руйнацій пам'яток архітектури внаслідок стихійних лих.

Рекомендовано методику використання програмного забезпечення (Erdas Imagine та MapInfo) та додаткових модулів (Delta Cue) для опрацювання даних космічного знімання та архівних аеро- і картографічних матеріалів з метою картографування історичних об'єктів.

Особистий внесок автора. Основні теоретичні положення та результати досліджень дисертаційної роботи отримані автором особисто. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в роботі використані лише ті положення, які належать автору і є результатом особистої праці здобувача. Запропоновано та модернізовано технології визначення меж історичних об'єктів на основі архівних та сучасних картографічних даних і матеріалів дистанційного зондування Землі.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертації доповідались на наукових семінарах кафедри фотограмметрії та геоінформатики (2009-2013 р.р.) та міжнародних конференціях: "Геофорум" (Львів, 2011, 2012 р.р.); IV та V Міжнародних науково-практичних конференціях «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні» (Ужгород, 2012, 2014 р.р.); XVII та XVIII Міжнародних науково-технічних симпозиумах «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології» (Алушта, 2012, 2013 р.р.); IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki" (Polska, Polanczyk, 2013 r.), VII Міжнародній науково-технічній конференції «Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика - сучасні технології та перспективи розвитку» (Львів, 2013 р.).

Публікації. Результати досліджень за темою дисертації опубліковано у тринадцяти наукових працях. Серед них: сім статей у фахових виданнях України, дві статті у наукових виданнях інших держав та чотири праці в матеріалах і тезах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, підсумкових висновків, списку літератури (104 найменувань), тринадцяти додатків. Загальний обсяг дисертації становить 114 сторінок, ілюстрації складають 35 рисунків та 6 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, розкрито наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, сформульовано основні положення, що виносяться на захист, викладено відомості про апробацію роботи, повноту публікацій та їх впровадження.

У першому розділі «Аналіз можливостей супутникових систем надвисокого просторового розрізнення для картографування об'єктів історичного середовища» подано аналіз методів вивчення історичних об'єктів на основі архівних картографічних матеріалів. Визначено, що одним з найефективніших методів вивчення стану пам'яток історії та культури є аналіз різночасових карт, на яких вони відображені. Особливу увагу при візуальному аналізі приділяють датуванню давніх карт, повноті їх змісту, об'єктивності відображення історичної дійсності. Виокремлено та проаналізовано наступні три групи спеціальних тематичних карт пов'язаних із збереженням, вивченням і використанням історичних

пам'яток: карти розміщення пам'яток історії та культури; карти історії розвитку (еволюції) пам'яток; карти взаємозв'язку історичних пам'яток і елементів оточуючого природного середовища.

На даний час серед усіх існуючих карт, що містять інформацію про об'єкти історико-культурної спадщини, можна виділити дві групи: туристичні карти, що відображають об'єкти історико-культурної спадщини; спеціалізовані карти історико-культурної спадщини (інвентаризаційні, оціночні, рекомендаційні, прогнозні).

Проаналізовано космічні знімальні системи, дані яких доцільно застосовувати в задачах картографування об'єктів історичного середовища. На сьогоднішній день дистанційне зондування Землі з космічних апаратів стало пріоритетним напрямом в космічних програмах промислово розвинених країн, на рівні з навігаційними і телекомунікаційними технологіями. ДЗЗ виконують супутники багатьох країн - США (LandSat, EOS, NOAA, QuickBird, Goes, Ikonos, GeoEye), Канади (RadarSat), Франції (Spot), Японії (Adeos, GMS), Індії (InSat, IRS), Росії (Природа, Метеор, Ресурс), України (Січ-1М). Вони оснащені багатоспектральною скануючою апаратурою, яка дозволяє виконувати панхроматичне, спектрозональне і радіолокаційне знімання в різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Просторове розрізнення скануючих систем залежно від їх типу і призначення має величину від десятків сантиметрів до декількох кілометрів на місцевості. Точно оцінити економічну ефективність використання космічного знімання в порівнянні з аерозніманням можна тільки в кожному конкретному випадку. При виконанні аерознімання велике значення має розмір ділянки, масштаб аерознімання, тип аерофотоапарата і інші фактори. Ймовірно, буде економічно більш доцільно, наприклад, замовити один знімок QuickBird площею 25 км² і вартістю 450 доларів, ніж організувати аерознімання невеликої ділянки. Необхідно також враховувати, що замовлення космічного знімка суттєво простіше, ніж організація аерофотознімання із властивими йому різного роду організаційними обмеженнями.

Для роботи з даними дистанційного зондування необхідно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення. Сучасне програмне забезпечення для обробки космічних знімків представлено у вигляді програмних комплексів, що дозволяють виконувати всі необхідні операції з дистанційними даними.

Найпопулярнішими та найпотужнішими для обробки даних дистанційного зондування є два програмних продукти: ERDAS Imagine та ENVI з модулями обробки космічних радіолокаційних зображень SARscape Basic і SARscape InSAR. Також використовуються і ГІС-пакети, такі як ArcGis, ArcView зі спеціалізованими модулями геопросторового аналізу, 3D моделювання та просторового аналізу. Програми MicroStation, INPHO, IDRISI, PCI Geomatica, MapInfo та безкоштовні Open Source програми, такі як gvSIG, GRASS та інші, поступаються зазначеним вище двом лідерам.

У другому розділі «Геометрична корекція космічних зображень надвисокого просторового розрізнення» розглянуто причини виникнення геометричних спотворень космічних знімків та математичні моделі їхньої корекції. Існують чотири

найбільш поширені в практиці математичні моделі геометричної корекції космічних зображень, а саме: поліноміальна модель типу 2D:

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2\end{aligned}\quad (1)$$

поліноміальна модель типу 3D:

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4x^2 + a_5xy + a_6xz \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3z + b_4x^2 + b_5xy + b_6xz\end{aligned}\quad (2)$$

модель перетворення RPC (Rational Polinomial Coefficients):

$$x_N = \frac{P_1(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_2(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}, \quad y_N = \frac{P_3(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_4(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}\quad (3)$$

модель проєктивного перетворення DLT (Direct Linear Transformation):

$$x = \frac{A_{11}X + A_{12}Y + A_{13}Z + A_{14}}{A_{31}X + A_{32}Y + A_{33}Z + 1}, \quad y = \frac{A_{21}X + A_{22}Y + A_{23}Z + A_{24}}{A_{31}X + A_{32}Y + A_{33}Z + 1}\quad (4)$$

Для дослідження точності геометричної корекції зображення обрано ділянку території урочища Бабин Яр в місті Києві, до якої підібрано наступні вихідні дані: космічні знімки, отримані з супутника QuickBird з 2000 по 2007 р. та GeoEye-1 з 2008 по 2011 рік включно; фрагмент топографічного плану м.Києва масштабу 1:2000 створеного у 2009 році. Для розв'язку поставленого завдання на топографічному плані міста Києва, погоджуючи з космічними зображеннями, віднайдено 35 чітких контурів, з яких 20 обрано як опорні точки та 15 як контрольні. В програмному пакеті MathCad 13 запрограмовано розв'язок поліноміальних моделей, моделі RPC та моделі DLT. Отримано невідомі коефіцієнти математичних моделей, що застосовувались для знімків, а також розраховані середні квадратичні похибки (СКП) геометричної корекції зображень, які подані в таблиці 1.

Таблиця 1.

Зведена таблиця отриманих середніх квадратичних похибок геометричної корекції зображень на опорних та контрольних точках за різними математичними моделями

Дата знімання	Квадратичний поліном типу 2D				Кубічний поліном типу 2D				Квадратичний поліном типу 3D			
	за 20 опорними точками		за 15 контрольними точками		за 20 опорними точками		за 15 контрольними точками		за 20 опорними точками		за 15 контрольними точками	
	m_x , м	m_y , м	m_x , м	m_y , м	m_x , м	m_y , м	m_x , м	m_y , м	m_x , м	m_y , м	m_x , м	m_y , м
01.03.2000	2,2	2,2	3,4	3,5	1,1	1,2	3,4	3,5	1,9	1,9	3,2	3,2
26.10.2001	2,2	2,3	3,4	3,5	1,2	1,1	3,4	3,5	1,9	1,8	3,3	3,2
17.03.2002	2,3	2,2	3,4	3,5	1,1	1,2	3,4	3,5	2,0	2,0	3,2	3,2

24.04.2004	2,0	2,1	3,4	3,4	1,1	1,2	3,4	3,5	1,9	1,9	3,1	3,2
25.08.2005	2,1	2,2	3,4	3,5	1,2	1,2	3,3	3,4	1,8	1,8	3,1	3,2
16.08.2006	2,1	2,2	3,5	3,4	1,2	1,2	3,4	3,4	1,8	1,9	3,2	3,2
26.05.2007	2,2	2,2	3,4	3,4	1,2	1,2	3,3	3,4	1,9	2,0	3,1	3,2
15.05.2008	2,2	2,2	3,4	3,4	1,1	1,1	3,4	3,5	1,9	2,0	3,2	3,2
07.04.2009	2,2	2,2	3,4	3,4	1,1	1,1	3,4	3,4	1,9	1,9	3,1	3,2
08.06.2010	2,2	2,2	3,4	3,4	1,1	1,1	3,4	3,4	1,9	2,0	3,3	3,2
09.05.2011	2,1	2,2	3,3	3,4	1,1	1,2	3,4	3,4	2,0	2,0	3,2	3,2
Дата знімання	Модель перетворення RPC					Модель перетворення DLT						
	за 20 опорними точками		за 15 контрольними точками			за 20 опорними точками		за 15 контрольними точками				
	m_x, M	m_y, M	m_x, M	m_y, M	m_z, M	m_x, M	m_y, M	m_x, M	m_y, M	m_z, M	m_x, M	m_y, M
01.03.2000	2,4	2,5	2,5	2,6	2,4	2,5	3,0	3,1				
26.10.2001	2,5	2,5	2,6	2,7	2,4	2,3	3,0	3,1				
17.03.2002	2,5	2,6	2,7	2,7	2,4	2,4	3,0	3,1				
24.04.2004	2,5	2,5	2,5	2,7	2,3	2,3	3,0	3,0				
25.08.2005	2,5	2,6	2,6	2,7	2,4	2,4	3,0	3,1				
16.08.2006	2,5	2,5	2,6	2,6	2,4	2,5	2,9	3,0				
26.05.2007	2,8	2,9	2,7	2,8	2,3	2,4	3,2	3,1				
15.05.2008	2,5	2,5	2,7	2,6	2,4	2,5	3,0	3,1				
07.04.2009	2,5	2,5	2,6	2,6	2,3	2,3	3,0	3,0				
08.06.2010	2,5	2,5	2,6	2,6	2,3	2,4	3,0	3,0				
09.05.2011	2,4	2,5	2,6	2,6	2,3	2,4	2,9	3,0				

За контрольними точками найкращі показники СКП отримуємо за математичними моделями RPC та DLT. Значення похибок за моделлю RPC дещо кращі, але різниця з моделлю DLT становить 0,3-0,4 метри, що потрапляють в обчислену допустиму похибку 0,55 метрів і можуть вважатися рівноцінними.

У третьому розділі «Технології опрацювання аерокосмічних зображень для картографування об'єктів історичного середовища» розглянуто технологію встановлення історичних меж урочища Бабин Яр на основі космічних знімків та архівних даних, а також методики створення ситуаційного плану Сирецького концентраційного табору у м.Києві за архівними аерознімками та визначення зон масових поховань військовополонених концентраційного табору Stalag-328 (Цитадель, м.Львів).

Метою досліджень було визначення історичних меж території Бабиного Яру та прилеглих до нього кладовищ, а саме: Єврейського, Кирилівського православного, Магометанського та Караїмського як об'єктів культурної спадщини, які формують державний заповідник «Бабин Яр», а також вказати зону масового розстрілу мирного населення в м. Києві під час Другої світової війни та відображення цих даних на сучасному топографічному плані міста. Зазначену роботу проведено на основі архівних матеріалів: топографічних та інших планів міста, створених протягом ХХ ст., а також аерофотознімка 1943 року. Для розв'язку даного завдання сформовано технологічну схему, за якою створенно растрові оверлеї та отримано три співставлені матеріали, як підоснови для кінцевих

графічних результатів, а саме: фрагмент топографічного плану урочища Бабин Яр 1924 року співставлено з фрагментом генерального плану Києва 2009 року масштабу 1:2000; фрагмент топографічного плану урочища Бабин Яр 1953 року співставлено з фрагментом генерального плану Києва 2009 року масштабу 1:2000 та фрагмент генерального плану Києва 2009 року масштабу 1:2000 співставлено з німецьким аерознімком 1943 року (рис. 1).

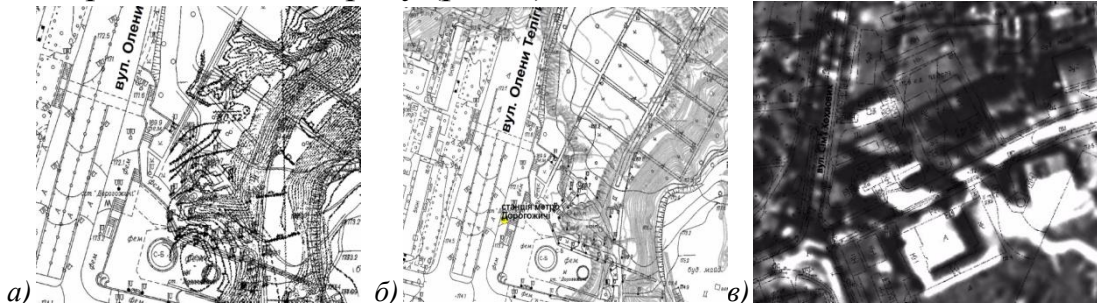


Рис. 1. Представлення фрагментів співставлених зображень документів:
 а)співставлене зображення Бабиного Яру 1953 року з планом 2009 року;
 б)співставлене зображення Бабиного Яру 1924 року з планом 2009 року;
 в) співставлене зображення плану 2009 року з німецьким аерознімком 1943 року

За кожним картографічним матеріалом виконано векторизацію меж кладовищ за різні роки та накладено їх на сучасний топографічний план масштабу 1:2000 (рис.2).

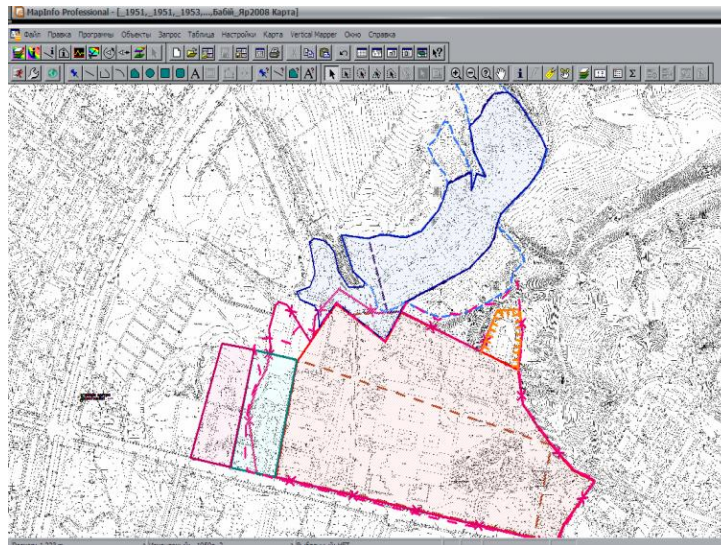


Рис. 2. Межі кладовищ за всі роки, нанесені на топографічний план 2009 року

Проте, одночасно нанесені межі кладовищ на рисунку не читаються. Тому вирішено розділити інформацію на періоди: межі кладовищ, що існували до 1924 року; межі кладовищ, що існували в період з 1924 року по 1969 рік; і межі кладовищ, що існували з 1951 року по 1969 рік. До перерахованих матеріалів додано ще два варіанти, на одному з яких на оверлей аерознімка 1943 року і плану міста 2009 року нанесено межі кладовищ за період з 1924 року по 1969 рік для кращої їх наочності. А на другому матеріалі вказано на топографічному плані 2009 року максимальні межі кладовищ за всі роки.

Для створення ситуаційного плану Сирецького концентраційного табору необхідно було інтерпретувати фрагмент архівного аерознімка міста Києва часів Другої світової війни, який отримано 26.09.1943 року, а також виконати сумісне опрацювання сучасного космічного зображення та архівного аерознімка за допомогою інструментальної ГІС.

Для досягнення означеної мети проаналізовано архівні матеріали, що склалися із письмових свідчень очевидців, які перебували на території Сирецького концентраційного табору в часи Другої світової війни у м.Києві та архівний аерознімок, отриманий німецькою армією в 1943 році, а також сучасний космічний знімок на цю територію із супутника GeoEye-1, за 2010 рік.

З архівного аерознімка дешифровано та векторизовано територію Сирецького концентраційного табору на трансформованому архівному аерозображенні.

Отримавши інформацію з векторних шарів про розташування об'єктів Сирецького концентраційного табору, треба визначити, як вони співставляються з сучасною містобудівною ситуацією. Для цього векторизовано сучасну дорожню мережу на основі космічного зображення і поєднано почергово шари сучасних об'єктів з архівним знімком, а також колишніх об'єктів з сучасним космічним зображенням. Результат подано на рисунку 3.

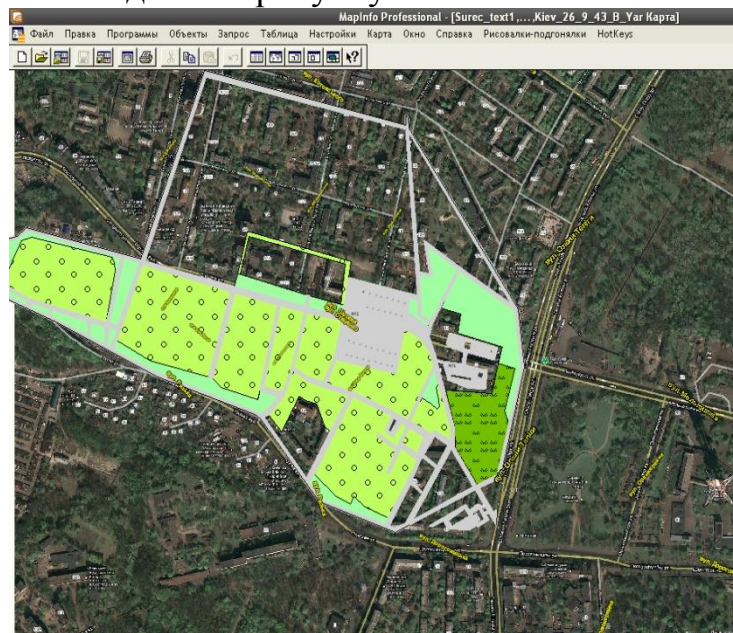


Рис.3. Вікно сучасного космічного зображення з нанесеною ситуацією Сирецького концентраційного табору

На завершальному етапі роботи об'єднано всю опрацьовану інформацію і підготовлено результуючі ситуаційні плани Сирецького концентраційного табору.

Для визначення зон масових поховань військовополонених концентраційного табору Stalag-328 виконана їх інтерпретація на фрагменті архівного аерознімка м.Львова, отриманого під час Другої світової війни, та співставлення з архівними картографічними матеріалами меж концентраційного табору і зон масових поховань військовополонених.

Для досягнення цієї мети проаналізовано письмові свідчення очевидців, що перебували в концентраційному таборі під час Другої світової війни та архівні

аерозображення, отримані німецькою армією у 1944 році. Детальна технологія вирішення подібного завдання описана автором у праці присвяченій визначенню місць масових поховань італійських військовополонених у смт.Лисиничі Львівської області.

Для дослідження використано три плани: два архівних плани території Цитаделі, створених австрійцями в 19 століття та радянськими військовими в кінці 1940-х років, а також сучасний топографічний план містобудівної ситуації, створений у 2005 році.

Виконано ітерпретацію і векторизацію об'єктів масових розстрілів та поховань військовополонених на території концентраційного табору за трансформованим архівним аерознімком. Результат цих дій подано на рис. 4. Аналіз отриманих результатів показує, що 20 % території масових розстрілів та поховань забудовано різного призначення будівлями і дорожньою мережею.

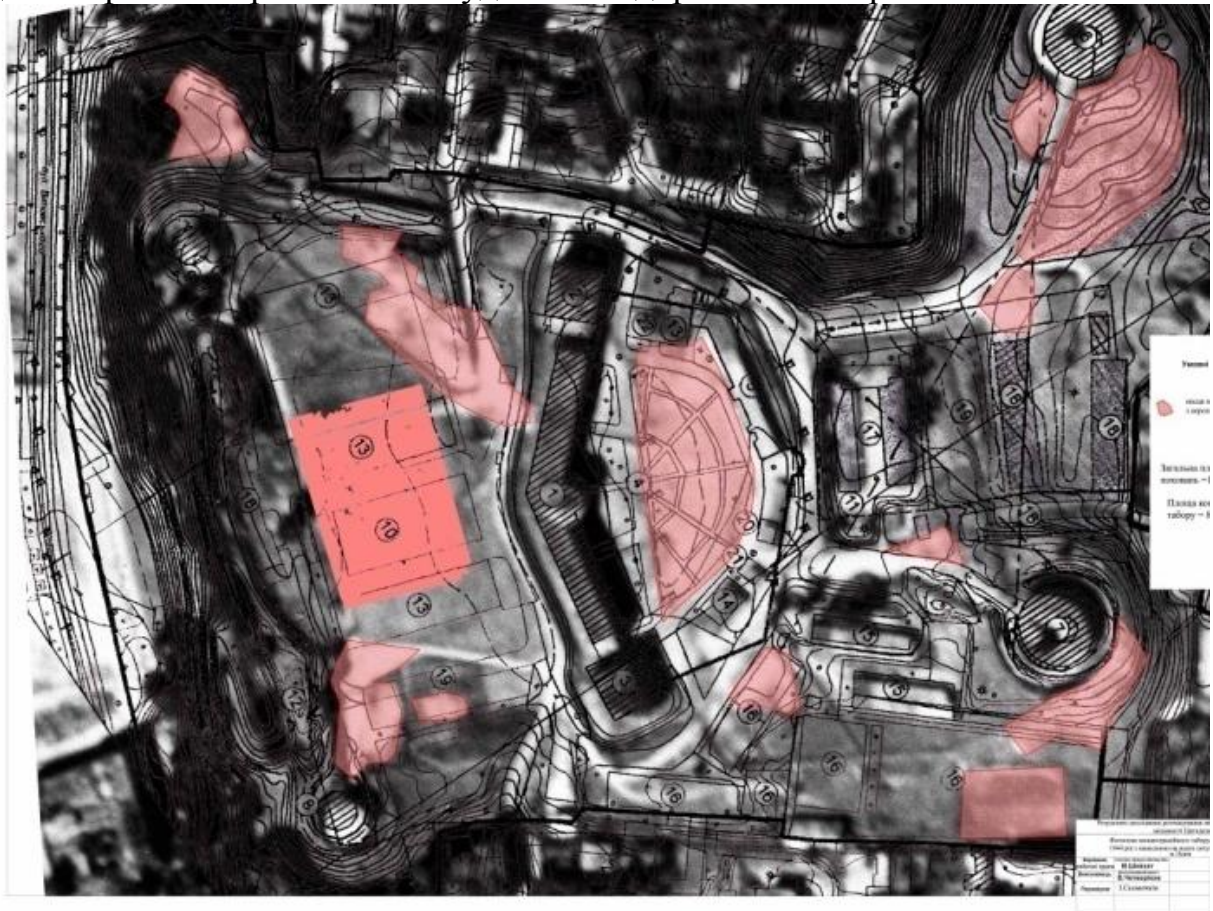


Рис. 4. Фрагмент плану створеного шляхом суміщення архівного німецького аерознімка з сучасним топографічним планом. Забарвленням позначені місця масових розстрілів та поховань військовополонених

Таким чином, отримано п'ять картографічних матеріалів, що демонструють динаміку зміни меж Кирилівського, Магометанського, Караїмського та Єврейського кладовищ у місті Києві з часом. Позначено зміну Бабиного Яру. Також створено ситуаційні плани розташування об'єктів Сирецького концентраційного табору та табору військовополонених Stalag-328, що існували під час Другої світової війни.

У четвертому розділі «Методика дистанційного визначення ступеня руйнацій історичної частини міста внаслідок землетрусу» розглянуто характеристики землетрусу, що відбувся 6 квітня 2009 в м. Л'Акуїла (Італія) та подано методику опрацювання космічних даних для отримання кількісних показників руйнацій будівель автоматичним та «ручним» методами.

На основі опрацьованих літературних джерел та можливостей програмного забезпечення для обробки космічних зображень, складено технологічну схему для отримання кількісних показників руйнацій будівель, що подано на рис.5.

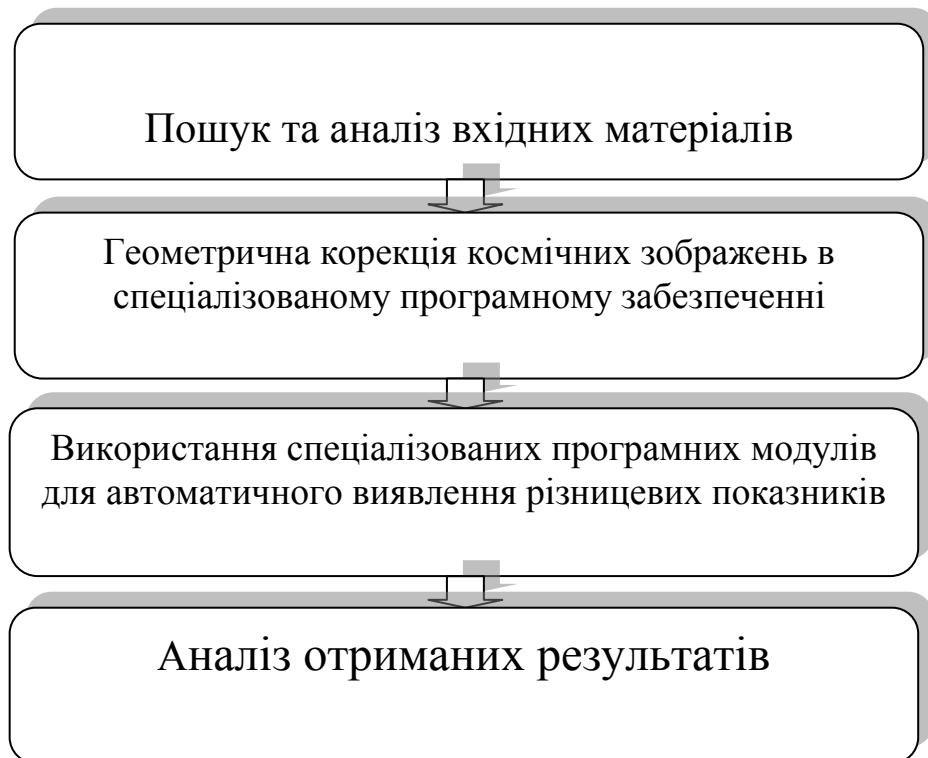


Рис. 5. Загальна технологічна схема опрацювання космічних даних для отримання кількісних показників руйнацій будівель

Для виконання досліджень використано наступні матеріали: космічний знімок отриманий 09.04.2006р. з супутника QuickBird до землетрусу, та космічне зображення, отримане 05.08.2009р. з супутника GeoEye-1 після землетрусу.

За допомогою програмного пакета ERDAS IMAGINE проведено геометричну корекцію космічних зображень на територію міста Л'Акуїла (Італія). Координати опорних точок для проведення трансформування було отримано з прив'язаного цифрового аерознімка (камера ADS-40) на цю ж територію.

Використовуючи модуль DeltaCue, створено новий проект пошуку змін будівель з часом, у якому обрано два космічних зображення отриманих до та після землетрусу. Для отримання даних про зміни будівель внаслідок землетрусу використано три типи фільтрації: спектральна сегментація; неправильна реєстрація пікселів пари зображень; просторова фільтрація. Внаслідок виконання автоматичної фільтрації програма видає шар різницевих показників. Відсортуювавши отримані дані тільки на район забудови міста, отримано площинні об'єкти, що демонструють руйнацію будівель (рис.6).

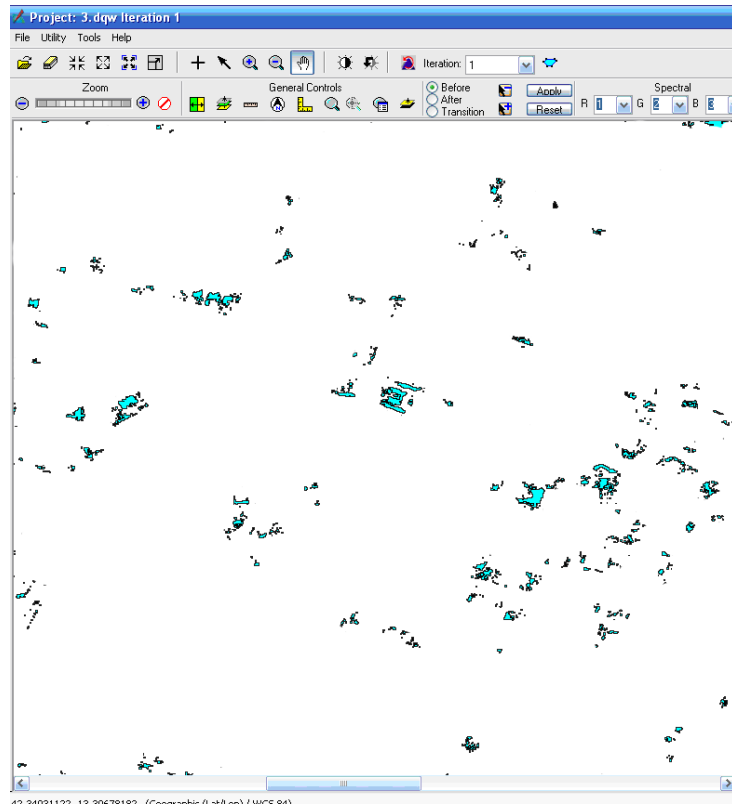


Рис. 6. Отримані різницеві показники площ будівель за космічними знімками до та після землетрусу у вигляді полігональних об'єктів

При програмному підрахунку загальної кількості об'єктів, що зазнали значних руйнацій або були зруйновані повністю виявлено 158 будинків. За отриманими даними автоматичного визначення змін обчислено кількість об'єктів, що зазнали руйнації в процентному вигляді:

- кількість будинків, руйнація яких становить до 25 % - 66;
- кількість будинків, руйнація яких становить від 25 % до 50% - 35;
- кількість будинків, руйнація яких становить від 50 % до 75% - 46;
- кількість будинків, руйнація яких становить від 75 % до 100% - 11.

Згідно цих даних нижче подано діаграма процентного співвідношення зруйнованих фрагментів будівель та кількості будинків, що зазнали руйнації при автоматичному визначенні змін (рис.7).

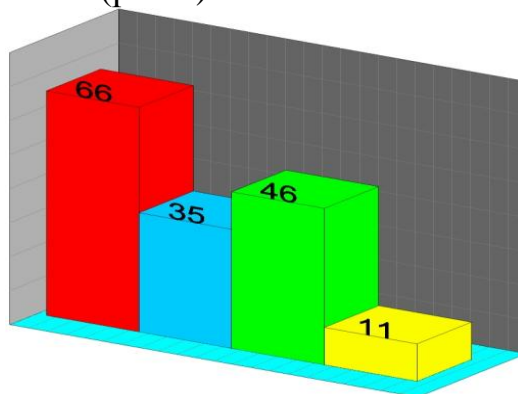


Рис.7. Діаграма процентного співвідношення зруйнованих фрагментів будівель та кількості будинків, що зазнали руйнації при автоматичному визначенні змін

Для «ручного» варіанту опрацювання космічних зображень з метою виявлення змін в геометрії зруйнованих будівель обрано професійну ГІС MapInfo, як найбільш зручне програмне забезпечення для подібного роду робіт.

Інтерпретовано та векторизовано шари будівель за космічними зображеннями до та після землетрусу. Оверлейні операції проведені над створеними шарами дали змогу сформувавши візуальне уявлення про ступінь руйнацій будівель (рис.8).

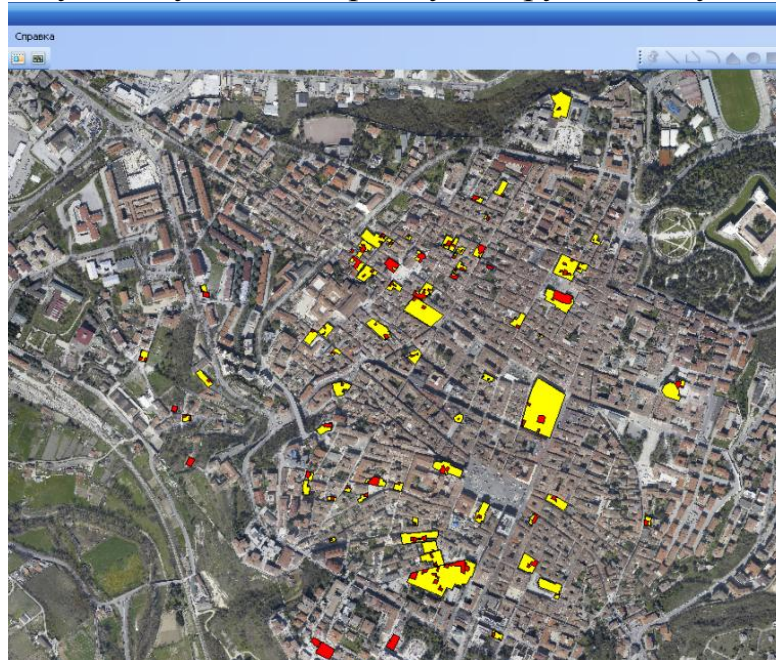


Рис.8. Векторизовані шари будівель до та після землетрусу з результатами оверлею

При програмному статистичному підрахунку векторизованих об'єктів виявлено, що загальна кількість будівель, які зазнали значних руйнацій або були зруйновані повністю становить 144 будинки, що інтерпретуються на космічному зображенні.

Для оцінки процентного співвідношення руйнацій об'єктів виконано порівняння площ кожного з них. Для прикладу наведено вікна з загальними площами об'єктів обох шарів для однієї великої будівлі (рис.9).

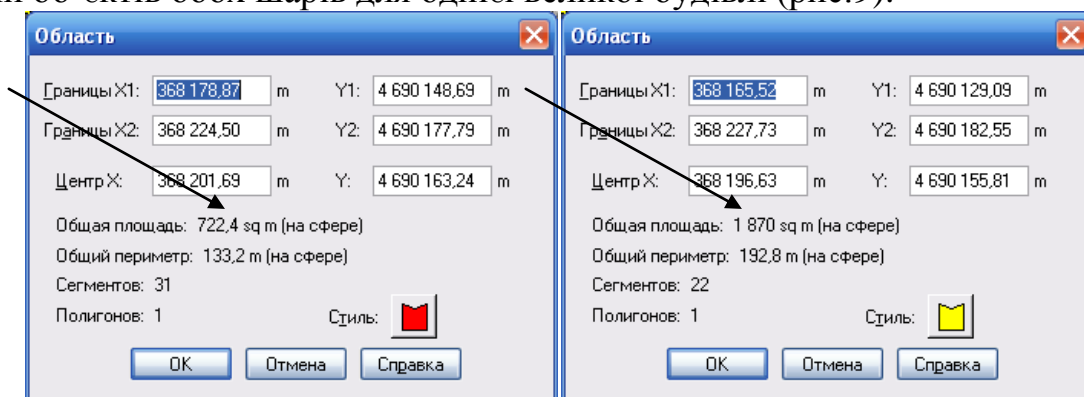


Рис. 9. Порівняння загальної площі будівлі з площею, що зазнала руйнації

За підрахованими даними визначено:

- кількість будинків, руйнація яких становить до 25 % - 53;
- кількість будинків, руйнація яких становить від 25 % до 50% - 34;

- кількість будинків, руйнація яких становить від 50 % до 75% - 46;
- кількість будинків, руйнація яких становить від 75 % до 100% - 11.

Згідно цих показників нижче подано діаграму процентного співвідношення зруйнованих фрагментів будівель та кількості будинків, що зазнали руйнації (рис.10).

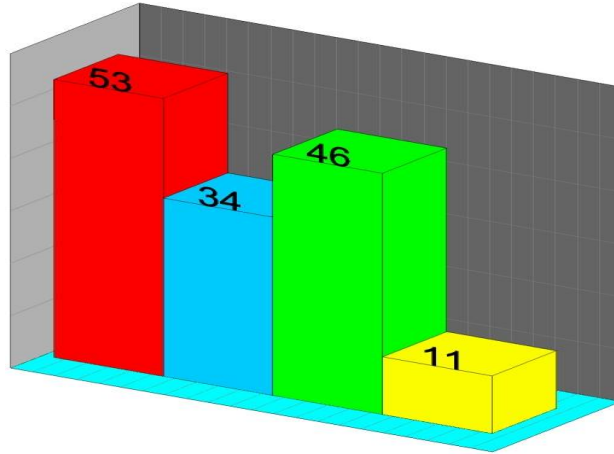


Рис. 10. Діаграма процентного співвідношення зруйнованих фрагментів будівель та кількості будинків, що зазнали руйнації

Проаналізувавши отримані дані визначено, що при автоматичному розпізнанні змін об'єктів, який базуються на спектральних характеристиках, кількість пошкоджених будинків зростає на 14 одиниць. При цьому здебільшого це об'єкти, що зазнали руйнації до 25 % і судячи з усього не видимі людському оку, а також один об'єкт, що зруйновано від 25 % до 50% - це може бути викликано різноповерховістю будинків і їх затіненням.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розглянуто теоретичні і практичні підходи до використання картографічних матеріалів і даних ДЗЗ для картографування об'єктів історичного середовища зокрема:

1. Детально проаналізовані можливості сучасних систем космічного базування для картографування об'єктів історичного середовища. Для створення історичних карт масштабу 1:5000 рекомендовано використовувати космічні знімки, отримані з супутників GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2; для карт масштабу 1:10000 – Eros A, Eros B; для карт масштабу 1:25000 – Spot-5; для карт масштабу 1:50000 - IRS 1C/1D; для карт масштабу 1:100000 - Spot-4.

2. Визначено оптимальні математичні моделі геометричної корекції космічних зображень, отриманих з супутників надвисокого просторового розрізнення GeoEye-1 та QuickBird. Як дослідний полігон обрано територію Бабиного Яру у м.Києві. На даній території віднайдено 35 опорних та контрольних точок, координати яких отримано з використанням приладів GPS у RTK режимі. Найкращі показники СКП отримано за математичними моделями RPC та DLT.

3. Вдосконалено технологію встановлення історичних меж територіально розподілених об'єктів культурної спадщини на основі космічних знімків та архівних даних за рахунок поєднання картографічних матеріалів, даних ДЗЗ та документальних свідчень очевидців. За даною технологією розроблено п'ять

картографічних документів, що характеризують зміни меж Бабиного Яру та прилеглих кладовищ у м.Києві в період з 1892 по 1969 роки. Ці матеріали є найбільш повним та достовірним відображенням території, яку вони займали. На сучасному плані вказано зону масового розстрілу мирного населення і військовополонених під час нацистської окупації м. Києва. Зону масових розстрілів визначено на підставі комплексного дослідження фотографічного і картографічного матеріалів. Також на них вказано повну територію, на якій розташовувався Бабин Яр.

4. Опрацьовано та досліджено методику створення картографічних матеріалів історичного середовища на основі інтерпретації архівних аерознімків Сирецького концентраційного табору та концентраційного табору Stalag-328 та документальних свідчень очевидців. Створено карти, на яких подано територію Сирецького концентраційного табору та історично вагомих об'єктів, що на ній знаходились. Вперше створено ситуаційні плани з межами масових розстрілів та братніх могил військовополонених концентраційного табору Stalag-328. Аналіз отриманих даних показав, що 20% території масових розстрілів та поховань забудовано спорудами різного призначення та дорожньою мережею.

5. Розроблено та досліджено технологію використання різночасових космічних зображень для автоматичного отримання кількісних показників руйнацій будівель історичного середовища внаслідок дій стихійних явищ на прикладі землетрусу, що відбувся в Італії. Експериментально підтверджена ефективність нової технології, що базується на використанні трьох фільтрів цифрового опрацювання зображень.

Результати досліджень, виконаних в рамках дисертаційної роботи, впроваджено в практику діяльності ряду організацій та громадських об'єднань, що сприяє відновленню історичних меж об'єктів культурної спадщини.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Четверіков Б. Встановлення історичних меж урочища Бабин Яр на основі архівних картографічних матеріалів/ Б.Четверіков // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Вип.ІІ(20). – 2010. – С.160-166
2. Четверіков Б. Методика створення ситуаційного плану Сирецького концентраційного табору за архівними аероматеріалами/ Б.Четверіков // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Вип.ІІ(22). – 2011. – С.184-187
3. Четверіков Б. Порівняння точності геометричної корекції космічних зображень, отриманих з супутника Geo Eye-1 при застосуванні різних математичних моделей/ Б.Четверіков // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Вип.І(23). – 2012. – С.211-215
4. Четверіков Б. Методика дистанційного визначення руйнацій будівель після землетрусу з використанням пакету Erdas/ Б.Четверіков, Х.Марусаж // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип.76. – 2013. – С.74-77

5. Четверіков Б.В. Фотограмметричні методи в оцінці надзвичайних ситуацій/ О.Л.Дорожинський, Р.М.Тукай, Б.В.Четверіков, Л.В.Бабій // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип.78. – 2013. – С.16-23
6. Boris Chetverikov. Methods of creation of historical situation plan concentration camp “Stalag-328”(Citadel) in Lviv(Ukraine) on the base archival aerial image/ Chetverikov Boris, Babiy Lyubov // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Вип.ІІ(28) – 2014. – С.71-73
7. Четверіков Б.В. Технологія створення цифрової моделі місцевості на прикладі ансамблю оборонних споруд “Цитадель” (м.Львів)/ Б.В. Четверіков, Х.І.Бідюк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип.80. – 2015. – С.111-119
Статті у закордонних журналах:
8. Boris Chetverikov. Determining the influence of earthquake on the changes of objects using remote sensing data/ Oleksandr Dorozhynskyy, Boris Chetverikov, Lyubov Babiy // Geomatics, Landmanagement and Landscape - No. 3. - 2013. – P. 7–15
9. Boris Chetverikov. Photogrammetric processing of archival aeroimagary for identification of the mass graves of Italian prisoners of World War ii in village Lysynychi (Lviv, Ukraine)/ Boris Chetverikov, Lyubov Babiy, Meylakh Sheykhet // British Journal of Science, Education and Culture. – No 1.(5), January-June, 2014. – Volume IV. – “London University Press”, 2014. – P.713-719.
Публікації в матеріалах і тезах конференцій:
10. Четверіков Борис. Дистанційне визначення зруйнованих будівель після стихійного лиха з використанням пакету Erdas Imagine/ Борис Четверіков //XVIII Міжнародний науково-технічний симпозіум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS технології» 10-15 вересня 2013, Крим, Алушта
11. Четверіков Борис. Фотограмметричне опрацювання аерокосмічних зображень з метою збереження об’єктів культурної спадщини/ Борис Четверіков //XVII Міжнародний науково-технічний симпозіум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS технології» 10-15 вересня 2012, Крим, Алушта
12. Chetverikov Boris. Methods of creation of historical situation plan of concentration camp “Stalag-328” (Citadel)/ Boris Chetverikov, Lyubov Babiy // IV International scientific conference "Innovative Geodetic Technologies Applied in Different Fields of Economy“ 22 to 24 May 2013, Rzeszow
13. Chetverikov Boris. Identification of the mass graves of Italian prisoners of World War II in Lviv(Ukraine)/ Boris Chetverikov, Lyubov Babiy// IV International scientific conference "Innovative Geodetic Technologies Applied in Different Fields of Economy“ 22 to 24 May 2013, Rzeszow

АНОТАЦІЯ

Четверіков Б.В. Методи опрацювання аерокосмічних та картографічних матеріалів для відображення об'єктів історичного середовища. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

В роботі розглянуто теоретичні засади та можливості застосування космічних знімальних систем високого та надвисокого просторового розрізнення для картографування об'єктів історичного середовища.

Проведено аналіз методів вивчення історичних об'єктів на основі архівних картографічних матеріалів та даних дистанційного зондування, що дозволило сформулювати перелік основних задач, які ставляться перед картографуванням історичних об'єктів культурної спадщини.

На підставі експериментальних досліджень математичних моделей геометричної корекції зображень надвисокого просторового розрізнення доведено, що найкращі показники СКП для знімків відзнятих з супутників GeoEye-1 і Quick Bird, отримуємо за математичними моделями RPC та DLT.

Проведено аналіз історичних меж Бабиного Яру та прилеглих до нього Караїмського, Мусульманського, Християнського та Єврейського кладовищ, що існували з 1924 по 1969 роки на основі архівних аеро- та картографічних матеріалів.

Запропоновано методіку створення історичних ситуаційних картографічних матеріалів засновану на поєднанні інтерпретаційних можливостей архівних аерознімків та письмових свідчень очевидців історичних подій.

Запропоновано та описано методіку автоматичного визначення руйнацій історично вагомих споруд в межах містобудівної ситуації внаслідок стихійного лиха.

Ключові слова: об'єкти історичного середовища, архівні картографічні матеріали, геометрична корекція зображень, архівні аерознімки, комірний моніторинг руйнацій.

АНОТАЦІЯ

Четвериков Б.В. Методы обработки аэрокосмических и картографических материалов для отображения объектов исторической среды. - На правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 - геодезия, фотограмметрия и картография. - Национальный университет «Львовская политехника», Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

В работе рассмотрены теоретические основы и возможности применения космических съемочных систем высокого и сверхвысокого пространственного разрешения для картографирования объектов исторической среды.

Проведен анализ методов изучения исторических объектов на основе архивных картографических материалов и данных дистанционного зондирования, что

позволило сформулировать перечень основных задач, которые ставятся перед картографированием исторических объектов культурного наследия.

Исследование существующих математических моделей геометрической коррекции космических изображений, которые являются наиболее употребляемыми, позволило углубить теоретические рекомендации по их использованию при трансформировании космических изображений сверхвысокого пространственного разрешения. В данном эксперименте для всех математических моделей использованы 20 опорных точек. Квадратичный полином типа 2D требует для решения, по меньшей мере 6 опорных точек поскольку содержит 12 неизвестных коэффициентов, то есть для этой модели 14 точек являются избыточными. В свою очередь кубический полином типа 2D и квадратичный полином типа 3D требует для решения 10 и 7 опорных точек соответственно, поскольку содержат 20 и 14 неизвестных коэффициентов. Для этих моделей есть 10 и 13 избыточных точек. Математические модели RPC и DLT содержат 3 и 14 избыточных опорных точек, но их решение является более сложным. Квадратичный полином типа 3D не обеспечил значительных улучшений в результатах СКП, поскольку на исследуемой территории перепад между минимальным и максимальным уровнем высот составляет всего 12 метров, поэтому координата Z в данном случае не играет значительной роли. Данную математическую модель можно рекомендовать только для горной местности, где есть значительные изменения рельефа. Квадратичный полином типа 2D и квадратичный полином типа 3D обеспечил одинаковые показатели СКП, учитывая рассчитанное значение погрешности. Так же одинаковые данные получены по математическим моделям RPC и DLT.

По контрольным точкам лучшие показатели СКП получаем по математическим моделям RPC и DLT. Значения погрешностей по математической модели RPC несколько меньше, но разница с моделью DLT составляет 0,3-0,4 метра, попадающих в исчисленную допустимую погрешность 0,55 м и могут считаться равноценными.

Проведен анализ исторических границ Бабьего Яра и прилегающих к нему Караимского, Мусульманского, Христианского и Еврейского кладбищ, которые существовали с 1924 по 1969 годы на основе архивных аэро- и картографических материалов. Эти материалы являются наиболее полным и достоверным отражением территории, которую они занимали, указанную на современном плане и зону массового расстрела мирного населения и военнопленных во время нацистской оккупации г.Киева. Зону массовых расстрелов определены на основании комплексного исследования фотографического и картографического материалов. Также на них указано полную территорию, на которой располагался Бабий Яр. Полученная документация прошла рецензирование двумя авторитетными украинскими организациями (ГНПП «Картография» и «Киевгеоинформатика», Киев) и мировой еврейской организацией (Астра Кадыша), а также рассмотрена экспертным советом Министерства культуры Украины, после чего передана руководству заповедника «Бабий Яр» для учета поправок.

Предложена методика создания исторических ситуационных картографических материалов основанная на сочетании интерпретационных возможностей архивных аэроснимков и письменных свидетельств очевидцев исторических событий.

Предложено использование определенного набора данных (архивные картографические материалы, архивные аэроснимки, данные космической съемки, современные картографические материалы) для выполнения картографирования объектов исторической среды.

Предложена и описана методика автоматического определения разрушений исторически значимых сооружений в пределах градостроительной ситуации вследствие стихийного бедствия.

Ключевые слова: объекты исторической среды, архивные картографические материалы, геометрическая коррекция изображений, архивные аэроснимки, комический мониторинг разрушений.

ANNOTATION

Chetverikov B.V. Methods of processing of aerospace and cartographic material for mapping objects of historical environment. - The manuscript. Thesis for the degree of PhD, specialty 05.24.01 - geodesy, photogrammetry and cartography. - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

Theoretical foundations and possible applications of space imaging systems of high and ultrahigh spatial resolution for historical environment objects mapping are considered in the work.

The analysis of methods of historical objects studying on the basis of archival cartographic materials and remote sensing data is implemented. This has allowed to formulate a list of the main tasks that are risen for the mapping of historical objects of cultural heritage.

It is proved on the basis of experimental studies of mathematical models of geometric correction of images with ultrahigh spatial resolution that the best indicators of RMSE we obtain on mathematical models of RPC and DLT. Model of projective transformation RPC and model DLT are recommended for geometric correction of images obtained from the satellite GeoEye-1 and Quick Bird.

The analysis of historical boundaries of BabiyYar and adjacent Karaim, Muslim, Christian and Jewish cemeteries that existed from 1924 to 1969 was done on the base of archival aerial and cartographical data.

The technique of creation of historical situational maps based on a combination of interpretive possibilities of archival aerial photographs and written eyewitness of historical events was proposed.

The technique of automatic determination of the destruction of historically significant buildings within the urban territory as a result of the disaster was proposed and described.

Keywords: historical environment objects, archival cartographic materials, geometric correction of images, archival aerial images, space monitoring of destructions.