

УДК 528.9:528.7

М. В. Косарєв, С. О. Ясенев

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

КОСМІЧНІ ЗНІМКИ ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНА ОСНОВА КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У даній статті розглянуті деякі способи отримання космічних знімків земної поверхні, особливості їх обробки і використання. Розглянуті параметри космічних знімків високої просторової роздільної здатності з позиції їх застосування у якості основи для геоінформаційного картографування. Проаналізовано особливості методики обробки даних ДЗЗ: радіометрична та геометрична корекція, покриття, покращення візуальних властивостей знімків, вибір та здійснення проектування до відповідної географічної системи координат. Наведені математичні моделі для фотограмметричної обробки сканерних космічних знімків. Проведено аналіз математичних моделей для фотограмметричної обробки і можливостей їх подальшого використання. Визначено фактори забезпечення комерційної вигоди від обґрунтованого вибору матеріалів для потреб великомасштабного картографування в сучасних умовах.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, геоінформаційне картографування, космічні знімки, аерокосмічні дослідження, дозвіл, корекція.

Н. В. Косарєв, С. А. Ясенев

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В данной статье рассмотрены некоторые способы получения космических снимков земной поверхности, особенности их обработки и использования. Рассмотрены параметры космических снимков высокого пространственного разрешения с позиции их применения в качестве основы для геоинформационного картографирования. Проанализированы особенности методики обработки данных ДЗЗ: радиометрическая и геометрическая коррекция, покрытие, улучшения визуальных свойств снимков, выбор и осуществление проектирования до соответствующей географической системы координат. Приведены математические модели для фотограмметрической обработки сканерных космических снимков. Проведен анализ математических моделей для фотограмметрической обработки и возможностей их дальнейшего использования. Определены факторы обеспечения коммерческой выгоды от обоснованного выбора материалов для нужд крупномасштабного картографирования в современных условиях.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, геоинформационное картографирование, космические снимки, аэрокосмические исследования, разрешение, коррекция.

M. V. Kosarev, S. O. Yasenev

SATELLITE IMAGES AS THE FUNDAMENTAL BASIS OF CARTOGRAPHIC MATERIALS AND GEOINFORMATION SYSTEMS

This article discusses some ways to get satellite images of the earth's surface, especially their handling and use. Parameters of satellite images of high spatial resolution of the position of their use as a basis for GIS mapping were considered. The features of remote sensing data processing techniques: radiometric and geometric correction, coverage, improvement of visual properties of the images, selection and implementation of the design to the geographical coordinate system are analyzed. The analysis of mathematical model for photogrammetric scanner processing of satellite images was conducted. The analysis of mathematical models for photogrammetric processing and their potential use was given. The factors provide commercial benefits of informed choice of materials for the needs of large-scale mapping in modern conditions.

Key words: the Earth remote sensing, geoinformation mapping, satellite imagery, aerospace research, resolution, correction.

Вступ. Нині в навколосемному просторі функціонує близько тисячі діючих космічних апаратів (КА) різного призначення та державної належності. Серед них близько півсотні космічних апаратів ДЗЗ та ще більше метеорологічних й топогеодезичних космічних апаратів і КА видової розвідки, що формують іконічну інформацію методами ДЗЗ.

Ми б хотіли відзначити широкі можливості застосування матеріалів космічної зйомки для багатобачних цілей картографії, а саме: просторова роздільна здатність знімків з різних супутників зумовлює масштаби тематичних карт, розроблених на базі цих космічних знімків — створення тематичних карт масштабу від 1:100 000 до 1:5 000; векторні дані оцифрованих карт можуть інтегруватися з растровими даними космічних знімків для просторових запитів та оновлення баз картографічних даних; дані з космознімків високої просторової розрізне-

ності є дуже корисними для містобудування і загального розвитку міста; транспортні мережі, різні типи шляхів і проїздів, основні дороги та інше — все це може бути закартографовано за допомогою геоінформаційних систем і технологій на основі космічних знімків [3]. Без залучення цих матеріалів традиційні картографічні документи, що відображають ситуацію на певну дату, застарівають досить швидко, оновлюються рідко і, фактично, цілісної актуальної картини сучасного стану та використання території міста звичайно не дають [2]. Практичне значення даної роботи полягає в удосконаленні процесу створення геоінформаційних систем на основі використання даних ДЗЗ.

Вихідні передумови. Хоча матеріали аерокосмічної зйомки використовуються для оновлення картографічних матеріалів досить давно, проте висока ціна зарубіжних космічних знімків крупного масштабу та відсут-

ність аналогічних вітчизняних знімальних систем обмежували використання цих даних у вітчизняній картографії. В останні роки цій темі почали приділяти досить багато уваги, тому є публікації і дослідження з цього напрямку, проте вони не завжди ідуть одним шляхом, а іноді навіть суперечать одне одному [1–3, 5–8].

Матеріали аерокосмічної зйомки до 2003 року з високою просторовою розрізненістю (краще 5 м) в Україні були засекречені. Висвітлювалися питання удосконалення власної системи ДЗЗ, використання космоматеріалів у ГІС різних рангів і призначення. Відомі зарубіжні публікації на тему використання космознімків для розробки тематичних геоінформаційних систем у ЄС, РФ, США та інших держав [6, 8, 10].

Важливе значення мають фундаментальні узагальнення інтеграції ДЗЗ та цифрового опрацювання зображень на космознімках, що впроваджуються такими багатьма науковими установами США, РФ, України та інших країн: USGS, Інститут космічних досліджень АН РФ, ЦАКДЗ ІГН НАН України і т.д. Одним із актуальних досягнень є визначення напрямків змін географічної ситуації на основі космознімків. В Україні також висвітлювалися питання удосконалення власної системи ДЗЗ, використання космоматеріалів у ГІС різних рангів і призначення [2, 9–10].

Перспективи подальших досліджень пов'язують з оновленням наявних матеріалів і виготовленням високоточних планів і карт територій, населених пунктів, окремих промислових об'єктів тощо, за якими можна визначати не лише планове положення об'єктів, а й висотне. Також, у багатьох публікаціях, йде мова про створення тривимірних моделей, які потрібні для глибокого аналізу геопросторової ситуації на проблемних територіях та прийняття найбільш обґрунтованих рішень щодо їх розвитку (що вже знайшло відображення у таких проектах як Google Earth).

Мета дослідження. Для впевненого використання космічних знімків недостатньо привести вихідні знімки до картографічної проекції, треба знати з якою точністю можуть бути розпізнані ті чи інші об'єкти (іноді доводиться штучно збільшувати просторове розрізнення — паншарпенінг). За рахунок цього космічні знімки надвисокої роздільної здатності можуть бути використані для задач, де потрібна висока точність, наприклад, при картографуванні і моніторингу територій населених пунктів [5–6, 11].

Виклад основного матеріалу. Для фотограмметричної обробки сканерних космічних знімків використовують строгі, універсальні і апроксимаційні моделі [10]. Суть строгого методу полягає у відновленні зв'язки променів, які проектуються на поверхню Землі і вирішенні колінеарних рівнянь:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{12}(Y - Y_s) + a_{13}(Z - Z_s)}{a_{31}(X - X_s) + a_{32}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \\ y - y_0 &= -f \frac{a_{21}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{23}(Z - Z_s)}{a_{31}(X - X_s) + a_{32}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \end{aligned} \quad (1),$$

де X_s, Y_s, Z_s координати центра фотографування в момент зйомки, X, Y, Z — геодезичні координати точки, x, y — координати точки на зображенні, f — фокусна відстань камери, x_0, y_0 — координати головної точки, a_{ij} — елементи матриці повороту на кути ω, φ, κ . При цьому враховуються фізичні параметри камери (фокусна відстань, координати головної точки, розмір пікселя), оптична дисторсія, положення камери в момент зйомки.

Рішення рівнянь (1) ускладнюється тим, що для кожної строки сканерного зображення параметри зовнішнього орієнтування $X_s, Y_s, Z_s, \omega, \varphi, \kappa$ є відмінними. Для їх розрахунку часто використовують поліноміальний алгоритм. Строгий метод дозволяє досягти максимальної точності [5].

Універсальні методи використовують стандартні математичні моделі — поліноміальні, паралельно-перспективні та ін. У розрахунок не приймаються додаткові дані про процес зйомки. Прикладом може служити метод раціональних функцій:

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \quad y = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad (2),$$

$$\begin{aligned} \text{де } P_i(X, Y, Z) &= \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k \\ l &= 1, 2, 3, 4, \quad i + j + k \leq 3 \end{aligned} \quad (3)$$

Мінімальна кількість необхідних опорних точок (N) буде залежати від ступеня поліномів (3) і відповідно від кількості коефіцієнтів $a_{ijk}(Q)$ в поліномі P_l (4).

$$N = 2Q - 1 \quad (4)$$

Загальне визнання знайшла апроксимаційна модель на основі рівнянь (2) — компроміс між строгим і універсальним способом, в якій використовуються поліноми третього ступеня (5).

$$\begin{aligned} P(X, Y, Z) &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 X^2 + a_5 XY + a_6 XZ + \\ &+ a_7 Y^2 + a_8 YZ + a_9 Z^2 + a_{10} X^3 + a_{11} X^2 Y + a_{12} X^2 Z + a_{13} XY^2 + \\ &+ a_{14} XYZ + a_{15} XZ^2 + a_{16} Y^3 + a_{17} Y^2 Z + a_{18} YZ^2 + a_{19} Z^3 \end{aligned} \quad (5)$$

Коефіцієнти раціональних функцій a_{ijk} розраховуються по строгій моделі. Корегування (зрівняння) знімків з використанням коефіцієнтів раціональних функцій може виконуватися і без опорних точок, однак кілька опорних точок допоможуть усунути систематичні помилки (такі, як, наприклад, при зміні системи координат). Застосування строгого методу дозволяє досягти більш рівномірного корегування.

Теоретичним базисом оцінки придатності знімальних космічних систем для картування територій є розрізнявальна здатність та радіометрична характеристика, тобто амплітуда передавання ступеня сірого та інших кольорів. Сьогодні доступні космічні знімки з високим просторовим розрізненням, які відповідають певному масштабу створюваних карт

з космічних апаратів QuickBird (просторове розрізнення 0,61 м в панхроматичному та 2,44 м в мультиспектральному режимі), Ikonos (відповідно 1 та 4 м), Orbview-3 (1 та 4 м), Formosat-2 (2 та 8 м), Spot-5 (5 та 10 м), Alos (2,5 та 10 м), WorldView-1 (0,5 м в панхроматичному режимі), WorldView-2 (0,50 та 1,8 м), GeoEye-1 (0,41 та 1,65 м). Зважаючи на розмір пікселя s на земні поверхні і графічну точність карти $= 0,2$ мм (у масштабі карти) ми можемо встановити залежність (окрім топографічних карт):

$$\frac{1}{m} \leq \frac{k}{s}$$

Для цілей картографування бажано мати повнокольорове зображення території для кращого розпізнавання різних тематичних шарів, бо в кожній вузькій зоні електромагнітного спектру фіксуються ті або інші окремі компоненти навколишнього природного середовища. Тому часто здійснюють злиття мультиспектрального зображення з панхроматичним для одержання кольорового зображення з вищою роздільною здатністю. Для того, щоб покращити візуальні характеристики знімку, зображення трансформуються до того, поки воно не займе весь динамічний діапазон. Даний метод називається розширенням меж контрастності і дає змогу розширити динамічний діапазон до максимального рівня, підвищуючи контрастність всього знімку в цілому. При розширенні гістограми в цілому існує два методи покращення контрастності зображення — лінійне розширення гістограми і її вирівнювання

Опрацьовані знімки, закладені в ГІС, можна використовувати як оновлену топооснову разом з текстовою і атрибутивною інформацією про об'єкти певних векторних тематичних шарів, виконувати швидко ідентифікацію об'єктів на знімку, проводити пошукові запити та геоінформаційний аналіз, що притаманно загальним функціям геоінформаційних систем

Трансформування космічного знімку в систему координат картографічної проекції здійснюється шляхом виконання двох операцій: просторової інтерполяції та інтерполяції значень яскравості пікселів. В загальному випадку, просторова інтерполяція виконується з великою кількістю опорних точок

із використанням методу найменших квадратів. Геометрична трансформація описується афінним перетворенням з шістьма незалежними параметрами, які відповідають шести елементарним трансформаціям знімку, тобто зміщенню вздовж осі x , зміщенню вздовж осі y , зміні масштабу по кожній із цих осей, паралельному зсуву границь знімку та повороту. Теоретично для розв'язку цієї математичної задачі достатньо знати координати трьох опорних точок. На практиці використовується набагато більша їх кількість, для кожної з яких розраховується середньоквадратична похибка. Проте, зазначений алгоритм не враховує перепадів рельєфу та моделі скануючої системи супутника [5–10].

Слід відзначити вигідну економічну складову, а також те, що космознімки є відкритими для використання. Інтеграція космознімку і вектору в єдиній ГІС надає картографічному матеріалу нового вигляду (векторно-растрового). Швидко розвиваючись технології дистанційного зондування все ширше використовуються для вирішення задач народного господарства, вивчення і прогнозування процесів і явищ [6, 8]. Реальністю стало отримання точної просторової інформації без збору наземних даних, що призводить до істотного скорочення фінансових і часових витрат. Засоби просторового аналізу, закладені в ГІС, дозволяють виявляти приховані закономірності в даних дистанційного зондування Землі.

Висновки. Проведено аналіз можливості застосування космічних знімків як базису при геоінформаційному картографуванні. Дані дослідження показали, що:

1. Використання космознімків дозволяє оперативно створювати актуальну растрову картографічну основу для геоінформаційної системи.
2. Порівняння знімків з картматеріалами дозволяє провести не тільки їх актуалізацію, але й полегшує дешифрування та виявляє зміни в природних та господарських комплексах.
3. Якість фотограмметричної обробки зображень залежить від попередньої корекції та виду математичних моделей, що застосовуються для розрахунку параметрів орієнтування знімків.

**Рецензент: кандидат технічних наук
О. В. Барладін**

Література:

1. Адров В. Н. Определение точностных характеристик снимков QuickBird/В. Н. Адров, Ю. И. Карионов, П. С. Титаров [и др.]. — V Международный семинар пользователей системы PHOTOMOD, Юрмала, 13–16 сентября 2005 г.
2. Барладін О. В. Методичні аспекти інтегрування космознімків в ГІС-Києва/О. В. Барладін//IX Міжнародний науково-технічний симпозиум: Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища — GPS- і GIS-технологій. — Алушта: Львівське АГП, 2004. — с. 72–74.
3. Барладін О. В. Використання космічних знімків високої просторової розрізненості для створення фотоатласу міста (на прикладі Києва)/О. В. Барладін, П. Д. Ярошук//Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. — Науковий журнал. Серія: Географія, 2006. — Т. 19 (58). — № 2.
4. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб./Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. — Львів: Вид-во Львівської політехніки. — 2010. — 292 с.
5. Гершензон В. Е. Рынок космических геоданных в 2010 году/В. Е. Гершензон, А. А. Кучейко//Пространственные данные. — 2010. — № 2.

6. Зубарев А. Э. Обработка стереопары космических изображений сенсора GeoEye-1 [Электронный ресурс] /А. Э. Зубарев//Режим доступа: www.racurs.ru/www_download/articles/Test_GE-1.pdf

7. Изображения Земли из космоса: примеры применения: научно-популярное издание. — М.: ООО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «СКАНЭКС», 2005. — 100 с.: ил.

8. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические снимки для карт XXI века/Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова//Картография 21 века: теория, методы, практика: Докл. 2 Всеросс. науч. конф. по картографии, посвящ. памяти А. А. Лютого. М.: Изд-во Ин-та геогр. РАН. — С. 272 – 278.

9. Лялько В. И. Состояние и перспективы развития дистанционных методов исследования Земли в Украине/В. И. Лялько, М. А. Попов, В. П. Зубко, А. Д. Рябоконтенко//Ученые записки ТНУ. Серия: География, 2004. — Т. 17 (56). — № 2. — С. 64 – 71.

10. Мышляев В. А. Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов/В. А. Мышляев, Г. Б. Воронов, Г. А. Шабанов//Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: Збірник матеріалів XVI Міжнародного науково-технічного симпозиуму (12 – 17 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим). — 2011. — С. 133.

11. Титаров П. С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения/П. С. Титаров//Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 2004. — № 2 (45)-4 (46).

УДК 004.9 + 004.451 + 911.3 + 502.22

С. В. Костриков*, Д. Л. Кулаков**, К. Ю. Сегида*

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Компанія iDATA Solutions (м. Оттава, Канада)

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС ДЛЯ LiDAR-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ В ЦІЛЯХ АНАЛІЗУ УРБОГЕОСИСТЕМ

Стаття присвячена поданню концептуального методологічного підходу щодо застосування ГІС-засобів геообробки, моделювання і візуалізації даних на підставі LiDAR-технології дистанційного зондування і сканування. Даний підхід застосовується для аналізу певних аспектів динаміки урбогеосистем. Більш детально розглядаються окремі складові цього підходу, ГІС-інтерфейс та функціональність спеціалізованого програмного забезпечення щодо аналізу урбогеосистем. Окремо обговорюються результати аналізу цих сутностей через LiDAR-технологію та ГІС-засоби. Доводиться ряд очевидних переваг імплементації поданого підходу для вирішення задач муніципального менеджменту.

Ключові слова: ГІС, дистанційне лазерне зондування та сканування, інтерфейс та функціональність програмного забезпечення, урбогеосистема, програмно-апаратний комплекс, «хмари точок» лазерної інформації, класифікація підстильної поверхні.

S. Kostrikov, D. Kulakov, K. Segida

GIS-SOFTWARE FOR THE LIDAR-TECHNOLOGY REMOTE SENSING IN URBOSYSTEM ANALYSIS RESEARCH PURPOSES

The paper recognizes the conceptual research approach with respect to GIS-tools of data geoprocessing, modeling and visualizing on the base of the LiDAR-technology remote sensing. The given approach is employed for some feature analysis of the urban geosystem dynamics. Some of this approach constituents, GIS-interface and specialized software functionality are considered more in details with the mentioned respect of urban geosystem analysis. In addition the analysis results obtained through LiDAR-technology and GIS-tools are thoroughly examined. Several evident advantages of this research concept are proved in this study due to municipal management challenges.

Key words: GIS, LiDAR-technology, software interface and functionality, urbogeosystem, software and hard-ware entity, point cloud of laser data, underlying surface classification.

С. В. Костриков, Д. Л. Кулаков, Е. Ю. Сегида

ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС ДЛЯ LiDAR-ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ АНАЛИЗА УРБОГЕОСИСТЕМ

Статья посвящена концептуальному методологическому подходу, касающемуся применения ГИС для геообработки, моделирования и визуализации данных на основе LiDAR-технологии дистанционного зондирования и сканирования. Этот подход применяется для анализа определенных аспектов динамики урбогеосистем. Более детально рассматриваются отдельные составляющие данного исследовательского подхода, ГИС-интерфейс и функциональность специализированного программного обеспечения. Отдельно обсуждаются результаты анализа урбогеосистем с помощью лазерного сканирования и средств ГИС. Доказывается ряд очевидных преимуществ имплементации изложенного подхода для решения задач муниципального менеджмента.

Ключевые слова: ГИС, дистанционное лазерное зондирование и сканирование, интерфейс и функциональность программного обеспечения, урбогеосистема, программно-аппаратный комплекс, «облака точек» лазерной информации, классификация подстилающей поверхности