



УДК 528.9:528.7

Аналіз матеріалів космічного знімання для використання в задачах геоінформаційного картографування

М.В. Косарев, С.О. Ясенев

Національний авіаційний університет

Розглянуті параметри космічних знімків високої просторової розрізненості 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. Проведено аналіз математичних моделей для фотограмметричної обробки космічних знімків і можливостей їх подальшого використання.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ, Косарев М.В., Ясенев С.О. — 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. Проведен анализ математических моделей для фотограмметрической обработки космических снимков и возможностей их дальнейшего использования.

THE USE OF SATELLITE IMAGES FOR THE TASKS OF GEOINFORMATIC MAPPING, by Kosarev M.V., Yasenev S.O. — Parameters of satellite images of high spatial fragmentation of the position of their use as a basis for GIS mapping are considered. The features of remote sensing data processing techniques: radiometric and geometric correction, coverage, improved visual properties of the images, the selection and implementation of the design to the geographical coordinate system. Analysis of mathematical models for photogrammetric processing satellite images and their possible future use.

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

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

1. ВСТУП

Нині в навколосезному 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.

Значний розвиток дистанційного зондування, особливо в частині спектральної та просторової розрізненості знімків, розширив можливості застосування даних, отриманих космічною зйомкою. Досягнення геоінформаційного картографування пропонують широке коло інструментів для інтеграції, конверсії, та управління просторовими даними: застосування космічних знімків високої просторової розрізненості, отриманих такими супутниками як IKONOS, Quick Bird, WorldView-1 (2), GeoEye-1 і т.д. для створення та оновлення крупномасштабних карт на сьогодні вже є одним з новітніх стандартів у картографічній науці. Матеріали такої космічної зйомки придатні для створення середньомасштабних карт [5].

Ми б хотіли відзначити широкі можливості застосування матеріалів космічної зйомки для багатоаспектних 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 розрізненості 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.

2. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Хоча матеріали аерокосмічної зйомки використовуються для оновлення картографічних матеріалів досить давно, проте висока ціна зарубіжних космічних знімків крупного масштабу та відсутність аналогічних вітчизняних знімальних систем обмежували використання цих даних у вітчизняній картографії. Але 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, 7–10].

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 [8, 10, 12, 16].

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, 13–14, 16].

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 визначити не лише планове положення об'єктів, а й висотне. Також, у багатьох публікаціях, йде мова про створення, у перспективі, тривимірних моделей, які потрібні для глибокого аналізу геопросторової ситуації на проблемних територіях та прийняття найбільш обґрунтованих рішень щодо їх розвитку.

3. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Космічні знімки — збірна назва даних, які отримуються за допомогою космічних апаратів в різних діапазонах електромагнітного спектру та візуалізують потім по певному алгоритму. Завдяки цифровим сканерним знімальним системам ми маємо можливість відразу працювати із зображеннями у середовищі спеціалізованих програмних пакетів (таких як ERDAS Imagine, ArcGIS або ENVI). В даний час на ринку ДЗЗ спостерігається стрімкий розвиток сектора знімків з надвисокою роздільною здатністю. Швидкими темпами зростає кількість запусків космічних апаратів (КА) зі знімальними системами з просторовим розрізненням 1 м і краще [1, 5, 7].

Інтенсивний розвиток апаратних засобів одержання високоякісних космічних знімків (КЗ), різко підвищив роль останніх при вирішенні широкого кола задач. На 2013 рік переважає сканерний спосіб, коли поперечну розгортку (перпендикулярно маршруту руху супутника) забезпечує скануючий (електрона розгортка) механізм, що передає електромагнітне випромінювання на сенсор (приймальний пристрій), а повздовжню розгортку (уздовж маршруту руху супутника) забезпечує саме переміщення космічного апарату, проте актуальними залишаються і інші види знімання [4].

З'явилися нові можливості для створення геоінформаційних продуктів, на основі використання космічних знімків, векторних і растрових картографічних матеріалів із застосуванням геоінформаційних систем і технологій. Сучасна технологія оновлення картографічних матеріалів повинна базуватися на застосуванні аерокосмічних даних, як джерела актуальної та об'єктивної просторової інформації, а також на використанні геоінформаційних технологій, як потужного засобу для зберігання, опрацювання та аналізу такої інформації. Атрибутивна інформація вміщує дані про загальногеографічні та спеціалізовані об'єкти, в основу ж графічної інформації покладаються відскановані карти, космознімки, схеми, що дає можливість для перспективного і ретроспективного аналізу. Унікальність космічних зображень полягає в тому, що великомасштабний космічний знімок являє собою, по суті, фотопортрет території. Проте в Україні на сьогоднішній день не існує універсальної методики підготовки даних дистанційного зондування для використання їх в якості растрової основи.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Згідно визначення Комітету ООН з космосу, ДЗЗ — це “спостереження й вимір енергетичних і поляризаційних характеристик власного і відбитого випромінювання елементів суші, океану й атмосфери Землі в різних діапазонах електромагнітних хвиль, що сприяють опису розташування, характеру і тимчасової мінливості природних параметрів і явищ, природних ресурсів Землі, навколишнього середовища, а також антропогенних об'єктів і утворень”.

Крім традиційного фотографічного знімання широко використовують оптико-електронне, інфрачервоне, радіолокаційне та інші види знімання, що дозволяє отримувати додаткову інформацію про предмети досліджень. Відповідно знімальні системи поділяють на: фотографічні, телевізійні, оптико-електронні, оптико-механічні, багатоспектральні сканерні, інфрачервоні, лазерні, радіотеплові та радіолокаційні [4, 16].

Дешифрування і аналіз матеріалів ДЗЗ в даний час все більше виконується за допомогою автоматизованих програмних комплексів. Роздільна здатність знімків, визначається розміром елементу зображення, пікселя — це величина, що характеризує розмір найменших об'єктів помітних на зображенні. Для обробки космічних знімків важлива їх прив'язка до об'єктів місцевості, що мають добрі дешифрувальні властивості. В якості розпізнавальних знаків, як правило, вибираються кути будинків, парканів, основи ліній електропередач, кути асфальтованих (бетонних) площадок, які чітко проявляються на знімку. Потім вибирається робоча система координат (має значення, в якій системі відомі координати більшості опорних точок). Далі слідує фотограмметрична обробка, де одним з ключових питань є кількість і розташування опорних точок, тому перший етап роботи повинен бути спрямований на визначення максимально можливої точності орієнтування та оптимізацію планово-висотного забезпечення. Геометрична точність перевіряється по помилках планового положення контрольних точок. Географічна корекція дозволяє створювати основи для тематичних карт [10].

Для фотограмметричної обробки сканерних космічних знімків використовують строгі, універсальні і апроксимаційні моделі [15]. Суть строгого методу полягає у відновленні зв'язки променів, які проектується на поверхню Землі і вирішенні колінеарних рівнянь:

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

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 $X_s, Y_s, Z_s, \omega, \varphi, \kappa$ відмінні. Для їх розрахунку часто використовують поліноміальний алгоритм. Строгий метод дозволяє досягти максимальної точності [7].

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:

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

де

$$P_l(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k, \quad l = 1, 2, 3, 4, \quad i + j + k \leq 3. \quad (3)$$

Мінімальна кількість необхідних опорних точок (N) буде залежати від степеня 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 степеня (5).

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

Коефіцієнти раціональних функцій a_{ijk} розраховуються по строгій моделі. Коригування (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 коригування.

Щодо конкретних матеріалів, то космічні знімки QuickBird найкраще придатні для створення космічних фотокарт крупного (1 : 5000) масштабу: доступна для комерційного використання просторова розрізненість — 0,61 м у зйомці в надирі і 0,66 м при зйомці з відхиленням в 15° від надиру. Оскільки 90% знімків, отриманих супутником QuickBird мають кут відхилення від надиру $0^\circ - 15^\circ$, то таку роздільну здатність можна порівняти з аерозйомкою середнього масштабу; багатоспектральність — окрім панхроматичного каналу забезпечує мультиспектральне зображення, яке складається з чотирьох каналів у синьому (0,45–0,520 мкм), зеленому (0,52–0,60 мкм), червоному (0,63–0,69 мкм) та інфрачервоному (0,76–0,90 мкм) спектральних діапазонах, з просторовою розрізненістю 2,4 м; радіометрична чутливість — динамічний діапазон 11 біт (2048 відтінків сірого); висока позиційна точність — знімки можуть бути

Таблиця 1. Масштаб відповідних карт для даних з різних супутників

Датчик	Розмір пікселя	Можливий масштаб
Alos	2,5 м	1 : 25 000
Spot-5	5 м	1 : 25 000
Eros	1,8 м	1 : 10 000
Orbview-3	1 м	1 : 5 000
Ikonos	1 м	1 : 5 000
QuickBird	0,61 м	1 : 3 000
WorldView-1	0,5 м	1 : 2 500
WorldView-2	0,5 м	1 : 2 500
GeoEye-1	0,41 м	1 : 2 000

Таблиця 2. Технічні характеристики знімків

Космічний апарат	Quick-Bird	IKONOS	SPOT 5
Об'єм інформації на 1 км ² панхроматичної зйомки, Мб	2,7	1	0,16
Масштаб створюваного ортофотоплану і площа трапеції відповідного масштабу	1 : 3 000	1 : 5 000	1 : 25 000
	1 км ²	4 км ²	85 км ²

геометрично опрацьовані з урахуванням точної моделі сенсору або за допомогою RPC (rational polynomial coefficient); великий розмір — ширина смуги 16,5–18 км, що дозволяє одним знімком покрити формат середнього обласного центру.

Теоретичним базисом оцінки придатності знімальних космічних систем для картування територій є розрізняльна здатність та радіометрична характеристика, тобто амплітуда передавання ступеня сірого та інших кольорів (О. Дорожинська). Для покращення візуальних характеристик знімку та використання з векторними шарами проводяться такі види обробки: сенсорна корекція, радіометрична корекція, геометрична корекція. В основному корекція проводиться постачальником зображення.

Сьогодні доступні космічні знімки з високим просторовим розрізненням, які відповідають певному масштабу створюваних карт (табл. 1) 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 земній поверхні і графічну точність карти $k = 0,2$ мм (у масштабі карти) ми можемо встановити залежність: $\frac{1}{m} \leq \frac{k}{s}$, окрім *топографічних* карт.

На даний момент згідно законодавства США просторова роздільна здатність космічних знімків штучно закругляється: в панхроматичному режимі — до 0,5 м, в мультиспектральному — до 2,4 м. Проте їх можна штучно покращити (паншарпенінг).

Різні знімальні системи (навіть на борту одного супутника) відрізняються за багатьма показниками і мають свою специфіку — одержувані ними дані теж суттєво відрізняються. При розрахунку економічної ефективності придбання і обробки того чи іншого продукту дистанційного зондування доцільно порівняти вартість виконання камеральних робіт своїми силами з ціною готового продукту такого рівня обробки, який відповідає вимогам щодо створюваної карти, які визначаються, перш за все, її масштабом.

У табл. 2 вказані граничні розміри карт, які можуть бути створені за ортофотопланами, побудованими по знімкам даних супутників.

Проте вищенаведені дані справедливі лише для ідеальних умов. В нормальних умовах за рахунок впливу турбулентності атмосфери, нахилу КА і приймача, зсуву зображень, залишкового дефокусування, дифракції та дискретності приймачів точність може бути меншою у 1,5–2 рази (О.Лудчак, І.Долинська). Також масштаби ортофотопланів, які можна створити по космічних знімках, залежать від багатьох інших чинників. Серед них можна виділити: якість і кількість опорних точок, якість цифрових моделей рельєфу і місцевості, характеристики програмного забезпечення, кваліфікацію виконавців. Причому всі ці фактори треба розглядати в сукупності. Наприклад, побудова карти масштабу 1 : 3000 по знімках QuickBird (табл. 3) можлива тільки при використанні опорних точок і цифрових моделей з точністю не гірше 0,15 м, а також зйомка повинна бути виконана при ідеальних фізичних і технічних умовах.

Вимоги до карти залежать від її призначення: топографічна або тематична, при тематичному картографуванні вимоги до точності нанесення положення об'єкта зазвичай трохи нижче, ніж для топографічних карт. Тому по одним і тим же знімкам можна скласти тематичні карти крупнішого масштабу. Для створення ж *топографічної карти* в масштабі 1 : 5000 розмір пікселя на поверхні землі не повинен перевищувати 1 м, тобто більшість сучасних знімків призначені для створення карт в масштабі не крупніше ніж 1 : 5000, через недостатню планово-висотну точність [9].

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. Проте, деякі методи поліпшення зображень (фільтрація, зміна контрасту) розуміють зміну спектральних характеристик знімка, тому після їх застосування не можна застосовувати методи тематичної обробки, які засновані на аналізі значень спектральної яскравості пікселів (класифікації, арифметичні перетворення каналів тощо) (рис. 1).

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 знімка, зображення трансфор-

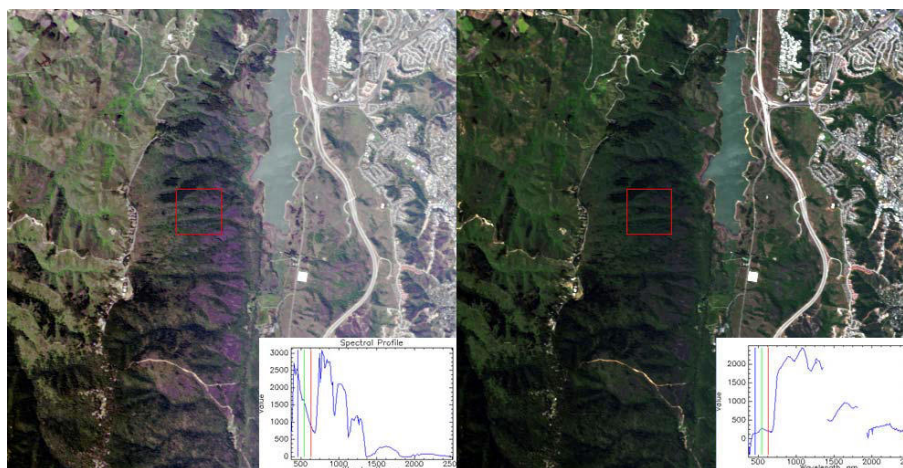


Рис. 1. Мультиспектральний знімок та результат корекції (на графіках — криві спектрального розподілу центру квадрата)



Рис. 2. Космічний знімок оброблений у ERDAS Imagine



Рис. 3. Фрагмент космічного знімка, суміщений з векторним шаром доріг та будинків.

мується 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 (рис. 2).

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 (рис. 3).

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. Для виконання такого перетворення використовується певна кількість наземних опорних точок, для яких відомі як координати в заданій проекції, так і координати на знімку. 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 [10–15].

Більшість сучасних програмних комплексів обробки даних ДЗЗ підтримують алгоритм із використанням функції RPC та містять параметри типової моделі камери для більшості існуючих сенсорів. На відміну від фізичної моделі, що потребує знання параметрів конкретної камери, типова модель не залежить від типу камери, і не потребує точних фізичних значень параметрів отримання зображень.

Всі растрові та векторні компоненти мають бути спроектовані в єдину географічну систему координат. Вибір проекції продиктований особливостями території, що картографується (конфігурація, площа покриття), характером використання карт (допустимі викривлення) та властивостями програмної оболонки.

Для картування значних територій однією із найбільш поширених проекцій є універсальна поперечна проекція Меркатора (UTM). В цій проекції поверхня Землі розділена на 60 меридіональних зон по 6° кожна. Проектування кожної зони здійснюється на циліндр, що дотикається до кожної зони по її центральному меридіану. Для того щоб позбавитись викривлень, які виникають біля полюсів, в кожній зоні проектується лише область між 84° пн.ш. та 80° пд.ш. Для підвищення точності вимірювань проекцію дещо видозмінюють так, щоб заданий масштаб зберігався вздовж стандартних меридіанів, що розміщуються на 180 км на схід та на захід центрального меридіану зони. Для компенсації викривлень між двома стандартними меридіанами вводиться поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,9996, а для компенсації викривлень поблизу границь зони — коефіцієнт, що дорівнює 1,0004. Універсальна поперечна проекція Меркатора прийнята в якості стандартної в багатьох організаціях, що займаються дистанційним зондуванням. Більшість комерційних даних ДЗЗ представлені саме в ній [2–3].

Кожен із існуючих растрових форматів сьогодні знаходить своє місце для реалізації тих чи інших цілей. Для геоінформаційних проектів найбільш поширеними і надійними є формат GeoTIFF.

Методика підготовки космічних знімків включає наступні етапи (ЗАТ «Інститут передових технологій, м. Київ»):

1. Оконтурення району робіт. Вибір оптимального типу знімків. Підготовка номенклатурного переліку та замовлення знімків.
2. Зведення, підготовка, сканування та просторова прив'язка відповідних крупномасштабних картографічних матеріалів.
3. Генерація моделі рельєфу на територію робіт.
4. Радіометрична корекція знімків.
5. Геометрична корекція космічних знімків з використанням узагальненої апроксимуючої функції RPC та моделлю рельєфу з досягненням необхідної точності прив'язки.
6. Створення мозаїки покриття району робіт.
7. Спектральна корекція. Покращення візуального сприйняття знімків.
8. Створення відповідних векторних шарів.
9. Вибір системи координат. Зведення отриманих матеріалів до єдиної інформаційної системи.
10. Генералізація. Підготовка додаткових даних для забезпечення швидкої та якісної візуалізації векторно-растрової основи на різних масштабних рівнях.
11. Вибір оптимального формату даних. Переведення результатуючих даних у відповідний формат для подальшого залучення в програмну оболонку.

Слід відзначити вигідну економічну складову, а також те, що космоснімки є відкритими для використання. Інтеграція космоснімку 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 [8, 10]. 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.

5. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень здійснено аналіз застосування космічних знімків з високим просторовим розрізненням. З'ясовано, що:

1. Використання космічних знімків дозволяє оперативно створювати актуальну растрову картографічну основу для геоінформаційної системи.
2. Порівняння знімків з картографічними матеріалами дозволяє провести не тільки їх актуалізацію, але й полегшує дешифрування та виявлення змін в природних та господарських комплексах.
3. Якість фотограмметричної обробки зображень залежить від попередньої корекції та використаних математичних моделей, що застосовуються для розрахунку параметрів орієнтування одержаних аерокосмічних знімків.

Зазначимо, що використання є дуже важливим для створення різного типу геоінформаційних систем, які описують динаміку геопросторових змін і необхідні для прийняття раціональних управлінських рішень.

1. *Адров В.Н., Карионов Ю.И., Титаров П.С., Харитонов В.Г., Громов М.О.* Определение точностных характеристик снимков QuickBird // V Международный семинар пользователей системы PHOTOMOD, Юрмала, 13–16 сентября 2005 г.
2. *Барладін О.В.* Методичні аспекти інтегрування космоснімків в ГІС-Києва. // IX Міжнародний науково-технічний симпозиум: Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища — GPS- і GIS-технологій. — Алушта: Львівське АГП, 2004. — С. 72–74.
3. *Барладін О.В., Ярошук П.Д.* Використання космічних знімків високої просторової розрізненості для створення фотоатласу міста (на прикладі Києва) // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського. Серія: Географія. — 2006. — **19** (58). — № 2.
4. *Буришинська Х.В., Станкевич С.А.* Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. — Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. — 292 с.
5. *Гершензон В.Е., Кучейко А.А.* Рынок космических геоданных в 2010 году // Пространственные данные. — 2010. — № 2.
6. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
7. *Зубарев А.Э.* Обработка стереопары космических изображений сенсора GeoEye-1. — www.racurs.ru/www_download/articles/Test_GE-1.pdf (электронный ресурс).
8. *Изображения Земли из космоса: примеры применения: научно-популярное издание.* — М.: ООО Инженерно-технологический центр «Сканэкс», 2005. — 100 с.
9. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02, Москва, ЦНИИГАиК, 2002.
10. *Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И.* Аерокосмические снимки для карт XXI века // Картография 21 века: теория, методы, практика: Докл. 2 Всерос. науч. конф. по картографии, посвящ. памяти А.А.Лютого. — М.: Изд-во Ин-та геогр. РАН. — С. 272–278.
11. *Лабутина И.А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков. Учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Аспект Пресс, 2004. — 184 с.
12. *Лютинская М.В., Нейфельд И.Г.* Использование данных ДЗЗ сверхвысокого разрешения для целей кадастрового учета // Геоматика. — 2009. — № 2. — С. 76–82.
13. *Лялько В.И., Попов М.А., Зубко В.П., Рябоконеко А.Д.* Состояние и перспективы развития дистанционных методов исследования Земли в Украине // Ученые записки ТНУ. Серия: География, 2004. — **17** (56), № 2. — С. 64–71.
14. *Мышляев В.А., Воронов Г.Б., Шабано Г.А.* Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов // 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.
15. *Титаров П.С.* Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2004. — № 2(45)–4(46).
16. *Чандра А.М., Гош С.К.* Дистанционное зондирование Земли и географические информационные системы. — М.: Техносфера, 2008. — 312 с.

Надійшла до редакції 12.11.2013