

# Геометрична корекція космічних зображень

Марина Пілічева

Кафедра Геоінформатики і геодезії, Донецький національний технічний університет, УКРАЇНА, м. Донецьк, вул. Артема, 58, E-mail: mo\_pilicheva@mail.ru

*Abstract – The need of the space images using together with the existing cartographic materials for the land management has been considered. The sources of the space images has been generalized. The methods of the geometrical correction of the space images has been analysed. The lacks of the existing methods has been found and the method of the geometrical correction with the indirect accounting of the topography has been proposed. The proposing method eliminate the topographic distortions and the random mistakes of the space images.*

Ключові слова – space images, geometrical correction, topographic distortions, land management.

## I. Вступ

Для ефективного управління муніципальними утвореннями у сфері земельних відносин необхідні достовірні і актуальні дані об'єктах і процесах на їх території. К таким задачам управління можна віднести розмежування земель державної і комунальної власності, встановлення і оновлення меж муніципального утворення, ведення чергового дежурного кадастрового плану, проведення зонування територій, в тому числі і для проведення нормативної грошової оцінки. Найчастіше для вирішення описаних задач використовуються геоінформаційні системи (ГІС). Важливою складовою будь-якої ГІС є якісна цифрова картографічна основа. Але на жаль, майже 70% існуючих архівних топографічних карт всіх масштабів застаріли більше ніж на 15 років [1], і тому не відповідають реальній ситуації місцевості. Традиційна схема створення і оновлення карт (проведення додаткових геодезичних і камеральних робіт) потребує великих матеріальних, часових і трудових витрат. Тому перспективним напрямком досліджень є використання даних дистанційного зондування Землі, а саме космічних зображень високої просторової здатності (не більше 1м/піксель) у комбінації з існуючими даними (архівний картографічний матеріал, дані обмінних кадастрових файлів та інші) [2]. При поєднанні космічних зображень і існуючих даних виникають розбіжності, які визвані похибками існуючих даних, похибками космічних зображень, не відповідністю систем координат і проєкцій. Якщо похибки існуючого картографічного матеріалу не враховувати, то виникає задача приведення космічного зображення у геометричну відповідність існуючим архівним даним, тобто виникає необхідність додаткової геометричної корекції космічного зображення.

Метою роботи є виявлення розбіжностей космічного зображення від архівних картографічних матеріалів і вивчення методів геометричної корекції.

## II. Геометрична корекція космічного зображення з прямим урахуванням рельєфу місцевості

Космічні зображення поділяються на декілька рівней попередньої обробки [3], але майже всі вони

мають похибки, які можуть досягати 50 м. Джерела похибок космічного зображення можуть бути згруповані у дві основні категорії [4]:

1. похибки спостерігача: платформи (нерівномірність руху, нерівномірність висоти платформи), сенсора зображення (нерівномірність сенсорних механізмів: швидкість розгортки і сканування, кути зору, панорамний ефект поля зору) і інших вимірювальних інструментів (гіроскоп, зірковий сенсор (часова перемінна, синхронізація сигналів));
2. похибки і спотворення предмету спостереження: атмосфери (рефракція і турбулентність), Землі (кривизна, обертання і топографічний ефект), карти (перетворення з геоїда на еліпсоїд, з еліпсоїда до карти).

Першу категорію похибок та частково другу (крім топографічного ефекту) виправляють постачальники космічних зображень, але випадкові похибки залишаються. Також у зображенні присутні суттєві спотворення, які було викликано рельєфом місцевості.

Для усунення спотворень, визваних рельєфом, відомо наступні геометричні моделі камери з прямим використанням цифрової моделі рельєфу (ЦМР):

1. Строга геометрична модель камери (заснована на рівняннях колінеарності) [5, 6].
2. Апроксимація строгої моделі камери (заснована на використанні коефіцієнтів раціонального поліному (RPC), які постачаються виконавцями зйомки) [7].
3. Параметричні універсальні моделі (засновані на загальних і наближених припущеннях про спосіб виконання зйомки, а значення параметрів обчислюються за допомогою опорних точок) [5, 6].

Точність виправлених космічних зображень прямо залежить від геометричної моделі камери, який використовується для геометричної корекції, і може досягати 2-10 м, і від точності ЦМР. Залежно від способу отримання ЦМР на її точність впливає ряд факторів:

1. Похибки існуючого картографічного матеріалу та похибки його сканування (згідно дослідженням [5] по сканованій топографічній карті М 1:5000 з розміром пікселя 0,3175 м ЦМР з шагом 10 м можна отримати з точністю 5 м).
2. Похибки визначення висот опорних точок. Виникають при переході від еліпсоїда WGS84 (к якому приведено космічне зображення) до еліпсоїда Красовського (який прийнято в Україні) (можуть досягати 7-10 м).
3. Похибки інтерполяції висот проміжних точок. Залежать від густоти опорних точок і метода інтерполяції (досягають 2-5 м).
4. Похибки встановлення рельєфу міських територій у зв'язку з існуванням багатьох штучно створених об'єктів на рівних або нахлонию площадках (будівлі, дороги, майданчики).

Для визначення, яку саме точність можна отримати при використанні геометричної корекції космічного зображення з прямим урахуванням рельєфу місцевості, було проведено геометричну корекцію для космічного зображення високої просторової здатності (0,6 м) з супутника QuickBird для міста Костянтинівка попереднього рівня обробки ORStandard2A з використанням RPC. Для цього було взято частину космічного зображення розміром 3 км x 3 км, на яку було створено ЦМР з шагом 50 м з використанням сканованого картографічного матеріалу масштабу 1:5000. ЦМР було перераховано до еліпсоїду WGS84 в проекцію UTM. Для контролю якості геометричної корекції було обрано 300 контрольних точок, на яких було виміряно лінійні відхилення космічного знімку від карти масштабу 1:5000. Середньоквадратичне значення лінійних відхилень складало 6,417 м. Далі виконувалось трансформування космічного зображення: для кожного пікселя нового зображення

1. за допомогою раціональних поліномів, геодезичних координат (широта і довгота) пікселя і інтерполяції ЦМР методом обратних відстаней визначались координати пікселя (номер стовбця та рядка) у вихідному зображенні;

2. вибиралась щільність пікселя і присвоювалась пікселю нового зображення.

Після геометричної корекції середньоквадратичне лінійне відхилення на контрольних точках склало 3,960 м.

На основі вище викладеного, можна зробити висновок, що після використання методів геометричної корекції космічного зображення з прямим урахуванням рельєфу місцевості залишаються дуже значні похибки, які визвані рельєфом місцевості та випадковими похибками спостерігача.

### III. Геометрична корекція космічного зображення з непрямим урахуванням рельєфу місцевості

Тому виникає задача використання метода трансформування космічного зображення, який би виключав використання ЦМР та при цьому б виправляв випадкові похибки спостерігача та предмету спостереження та усував розбіжності між системами координат та проекціями космічного зображення і існуючого картографічного матеріалу.

Для вирішення цієї задачі пропонується виконувати геометричну корекцію космічного зображення методом інтерполяції виміряних лінійних відхилень на характерних точках.

Весь процес геометричної корекції космічного зображення можна поділити на декілька етапів:

1. Попереднє трансформування космічного зображення у систему координат картографічного матеріалу.

2. Вимірювання лінійних відхилень космічного зображення і картографічного матеріалу на характерних точках.

3. Остаточне трансформування космічного знімку з використанням виміряних лінійних відхилень.

При попередньому трансформуванні космічного зображення у систему координат картографічного матеріалу вибирається 4 опорних точки, які легко можна дешифрувати на космічному зображенні та на картографічному матеріалі. Бажано, щоб точки розміщувалися по периметру космічного зображення. При цьому використовується афінне перетворення. Відхилення на опорних точках при попередньому трансформуванні можуть досягати 10 м. При використанні більшої кількості опорних точок значення відхилень не зменшуються.

Вимірювання лінійних відхилень космічного зображення і картографічного матеріалу відбувається на характерних точках (перехрестя доріг, кут огорожі, кут будинку (будівлі) та інші). Приклад вимірювань на характерних точках наведено на рис. 1.



— - виміряне лінійне відхилення

Рис. 1 Приклад вимірювань на характерних точках

Для тестування пропонуємого методу геометричної корекції було взято 4 космічні зображення зі супутника QuickBird високої просторової здатності (0,6 м) міст Донецької області. Рівень попередньої обробки космічних зображень міст Костянтинівка, Ясинувата і Шахтарськ - ORStandard2A, а міста Донецьк - Standard2A. Основні характеристики обраних космічних зображень наведено у табл. 1

ТАБЛИЦЯ 1

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Космічне зображення міста	Характеристики				
	1	2	3	4	5
Костянтинівка	12.04.2005	6295	30,860	0,664	6,973
Донецьк	09.11.2004	744	7,288	0,688	2,853
Ясинувата	22.07.2002	1330	40,720	0,649	16,062
Шахтарськ	29.06.2002	8224	26,939	0,683	7,364

де:

1 – дата зйомки;

2 – кількість виміряних лінійних відхилень;

3 – максимальне значення лінійного відхилення, м;

4 – мінімальне значення лінійного відхилення, м;

5 – середньоквадратичне значення лінійного відхилення, м.

В якості архівного картографічного матеріалу були використані карти масштабу 1:5000 та 1:2000.

При остаточном трансформуванні космічного знімку з використанням вимірних лінійних відхилень на характерних точках можна застосовувати різні методи інтерполяції. Було опробовано інтерполяцію методом обратних відстаней, полиноми 1, 2 и 3 ступеня та метод коллокації [8].

При застосуванні інтерполяції методом обратних відстаней і афінного перетворення на характерних точках залишаються остаточні відхилення від картографічного матеріалу, значення яких наведено у табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2

Похибки інтерполяції лінійних відхилень

Космічне зображення міста	Середньо квадратична похибка інтерполяції лінійних відхилень, м	
	метод обратних відстаней	метод афінного перетворення
Костянтинівка	2,888	2,379
Донецьк	1,857	1,789
Ясинувата	6,763	5,728
Шахтарськ	1,793	1,513

При використанні поліномів 2 і 3 ступеня відхилення на характерних точках можуть досягати 20 м, тому застосовувати данні методи не доцільно.

Для інтерполяції лінійних відхилень при остаточній трансформації космічного зображення було обрано метод коллокації, бо при використанні данного методу на характерних точках не має відхилень. Приклад космічного зображення після остаточної трансформації наведено на рис. 2.

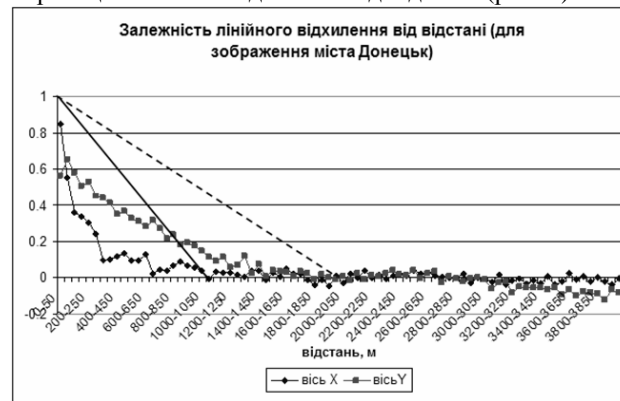


Рис.2 Приклад космічного зображення після остаточної геометричної корекції

При остаточній геометричній корекції з застосуванням інтерполяції лінійних відхилень методом коллокації для кожного пікселя космічного зображення будується квадрат зі стороною  $R$ . Із лінійних відхилень вибираються такі, які потрапили у квадрат. В квадрат повинно попасти від 1 до 70 відхилень. Якщо попало менше ніж 1 відхилення, то квадрат збільшується, а якщо більше ніж 70, то квадрат зменшується. В тих випадках, коли в квадрат не потрапило ні одного відхилення, космічний знімок залишався без змін. Розмір квадрата і кількість відхилень, які повинні попасти в квадрат, були отримані декількома ітераціями методом підбору.

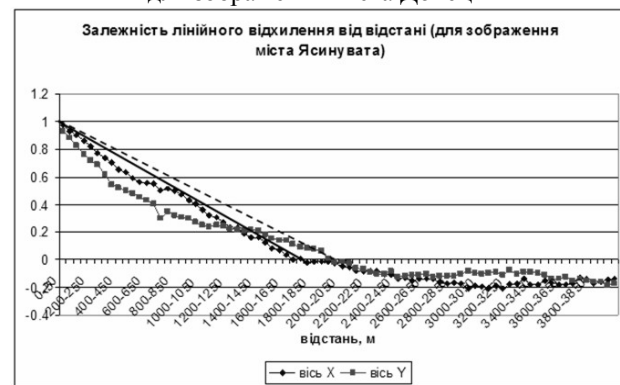
Однією з основних задач при використанні методу коллокації було обрання оптимальної кореляційної функції. Опитним шляхом було доведено, що кореляційна функція повинна мати лінійний вид. При застосуванні інших нелінійних функцій зображення складається з окремих пікселів, і не виходить цілісної картини.

Вибір кореляційної функції виконувався ітераційним шляхом методом підбору та зі застосуванням кореляції лінійних відхилень від відстані (рис. 3).



— — — — — апроксимація функції по вісі X ( $a=1, b=-1/1000$ )  
 - - - - - апроксимація функції по вісі Y ( $a=1, b=-1/2000$ )

Рис. 3,а Кореляція лінійних відхилень від відстані для зображення міста Донецьк



— — — — — апроксимація функції по вісі X ( $a=1, b=-1/1800$ )  
 - - - - - апроксимація функції по вісі Y ( $a=1, b=-1/2000$ )

Рис. 3,б Кореляція лінійних відхилень від відстані для зображення міста Ясинувата

Кореляційні функції було створено для всіх космічних зображень. Кореляційні функції для космічних зображень міст Костянтинівка і Шахтарськ за характером схожі на кореляційні функції міста Ясинувата, що можна обґрунтувати однаковим рівнем попередньої обробки зображення.

При використанні кореляційної функції для будь-якого космічного зображення коефіцієнт  $a$  було прийнято 1, а коефіцієнт  $b$  вираховувався як  $-1/R$ , де  $R$  – підібрана відстань або відстань, при якій відбувається перетин кореляції лінійних відхилень від відстані (рис. 3).

Для різних космічних зображень були підібрані різні функції. Для апробації різних функцій були вираховані відхилення на характерних точках з використанням інтерполяції лінійних відхилень по відхиленням ближніх характерних точок. Середньо-квадратичні похибки різностей вирахованих та вимірних відхилень на характерних точках в

залежності від кореляційної функції для різних космічних зображень наведено у табл. 3.

ТАБЛИЦЯ 3

СЕРЕДНЬО КВАДРАТИЧНІ ПОХИБКИ РІЗНОСТЕЙ ВИРАХОВАНИХ ТА ВИМІРЯНИХ ВІДХИЛЕНЬ

Космічний знімок міста	Відстань (R), м	Середньо-квадратична похибка, м
Костянтинівка	300	1,801
	600	1,803
	1000	1,799
	2500	1,798
Донецьк	300	2,847
	600	2,227
	1000	1,770
	2000	1,778
Ясинувата	300	6,566
	600	6,037
	1000	4,593
	1800	4,593
	2000	4,594
Шахтарськ	300	1,393
	600	1,355
	1000	1,354
	1800	1,354
	3400	1,354

Як видно з табл. 3 є критична відстань, після якої покращення результатів не спостерігається. Тому можна застосовувати кореляційну функцію (рис. 3).

Значення похибок (табл. 3) для космічних зображень міст Костянтинівка, Донецьк та Шахтарськ майже однакові, а для міста Ясинувата майже у 3 рази більше, можна пояснити якістю вихідного архівного картографічного матеріалу, бо для міста Ясинувата використовувались відскановані кальки масштабу 1:2000, і тим, що при вимірюваннях міста Ясинувата присутня систематична похибка, тоді як у вимірюваннях інших космічних зображень міст є тільки випадкові похибки.

## Висновок

Пропонуємо метод геометричної корекції з використанням виміряних лінійних відхилень може

бути застосовано для поєднання космічних зображень і існуючих даних.

## References

- [1] Карпінський Ю., Ляшенко А. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. – К.: НДІГК, 2006. – 108 : іл. – (Сер. «Геодезія, картографія, кадастр»).
- [2] Баран П.І., Мінкевич Н.А., Олексій І.І., Примак Л.В., Примак О.В., Сулима В.О., Сушко В.Г. Про використання космічних знімків для кадастру земель та великомасштабного картографування // Вісник геодезії та картографії. – 2006. – №6 (45). – С. 31-37.
- [3] Карпінський Ю.О., Скакодуб Л.О., Єгоров А.В. Досвід використання космічних знімків із супутника QuickBird (Standard) для великомасштабного картографування // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – №2 (47). – С. 22-29.
- [4] Toutin T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. INT. J. REMOTE SENSING, may, 2004, Vol. 25, No. 10, p. 1893–1924.
- [5] П.С. Титаров Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения // [http://www2.racurs.ru/www\\_download/articles/scan\\_pract.pdf](http://www2.racurs.ru/www_download/articles/scan_pract.pdf) (30.03.2007).
- [6] Xutong Niu, Jue Wang, Kaichang Di, Jin-Duk Lee, Ron Li Geometric modeling and photogrammetric processing of high resolution satellite imagery // [http://shoreline.eng.ohio-state.edu/publications/isprs2004\\_quickbird.pdf](http://shoreline.eng.ohio-state.edu/publications/isprs2004_quickbird.pdf) (17.03.2009)
- [7] QuickBird Imagery Product Guide. Revision 4.6.1. – 2005. // [http://www.digitalglobe.com/digitalglobe2/file.php/545/WV-1\\_Product\\_QR\\_Guide.pdf](http://www.digitalglobe.com/digitalglobe2/file.php/545/WV-1_Product_QR_Guide.pdf) (17.03.2009)
- [8] Стрельцов В.И., Могильный С.Г. Маркшейдерское обеспечение природопользования недр. – М.: Недра, 1989. – 205 с.: ил.