

УДК 004.65, 004.67

**О. П. Федоров, Н. М. Куссуль, О. М. Кравченко, С. Л. Янчевський, Р. М. Басараб,
В. М. Кригін, М. С. Лавренюк**

Інститут космічних досліджень Національної академії наук України
та Державного космічного агентства України, Київ

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ГЕОГРАФІЧНОГО ПРИВ'ЯЗУВАННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЗЗ «СІЧ-2» ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Запропоновано інформаційну технологію та програмне забезпечення геоприв'язування даних КА «Січ-2». Проаналізовано точність географічної прив'язки даних вихідних знімків КА «Січ-2» та знімків з уточненою геоприв'язкою. Визначено проблеми та запропоновано шляхи їхнього вирішення.

ВСТУП

Абсолютна більшість провайдерів даних ДЗЗ окрім постачання вихідних супутникових даних надає послуги щодо геоприв'язування супутникових знімків. З іншого боку, базова точність геоприв'язки за орбітальними показниками КА «Січ-2» (250–2000 м) відповідає рівню супутників 10–20-річної давності і значно поступається конкурентам, зокрема «RapidEye» (20–50 м), «Landsat-5» (30 м), «Spot-5» (30 м).

Традиційно уточнення прив'язки супутникових даних виконувалося вручну шляхом пошуку оператором контрольних точок (GCP) на зображенні та опорній карті чи мозаїці знімків. Однак відносно велика смуга огляду (50 км) та великий кут нахилу (до 35°) КА «Січ-2» вимагає великої кількості контрольних точок для точної прив'язки зображення (до 100 точок) та великої кількості людських ресурсів (2–10 людино-годин на знімок), що унеможливує використання традиційних підходів у великомасштабних проектах.

Як альтернатива традиційному підходу на сьогодні у світі використовуються методи авто-

матичного прив'язування зображень до опорної мозаїки знімків. Подібні методи розроблено для даних «Landsat-5», «Landsat-7», IRS/AWiFS, IRS/LISS-3.

Дана робота полягає у розробці інформаційної технології географічного прив'язування даних космічної системи ДЗЗ «Січ-2» до опорної мозаїки «Landsat GEOCOVER 2000» на основі адаптованих до КА «Січ-2» методів автоматичного пошуку контрольних точок.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ДАНИХ ДЗЗ

У сучасному світі застосування геопросторової інформації, що отримується від космічних систем ДЗЗ, є нагальною потребою в ході вирішення широкого кола соціально-економічних завдань у сфері економіки, оборони, безпеки, екології, науки та інших важливих напрямків діяльності.

При цьому однією із знакових тенденцій, що відмічається протягом усього періоду розвитку таких систем, є постійне поліпшення розрізняльної здатності, а у останні декілька років ще й значне, у десятки разів, підвищення точності географічної прив'язки даних ДЗЗ [6].

Показово, що більшість цивільних КА ДЗЗ, запущених у період 2000–2007 рр., і які є по суті певною переробкою військових розвідувальних систем (EROS-A, EROS-B, CARTOSAT-2 та ін.)

мають відносно невисоку точність геоприв'язки — близько 100 м. Користувачі таких даних змушені використовувати дорогі фотограмметричні системи та картографічні матеріали для уточнення прив'язки таких знімків. Це ускладнює їхнє практичне використання та у значній мірі обмежує їхню ринкову нішу.

Натомість новітні високопродуктивні супутники високого і надвисокого розділення (0.41—0.8 м) «WorldView-1», «GeoEye-1» і «WorldView-2» комерційних компаній GeoEye і DigitalGlobe мають надзвичайно високу точність прив'язки і по суті захопили до 80 % ринку даних ДЗЗ.

Висока динаміка в процесі зйомки супутниками «GeoEye-1», «WorldView-1» і «WorldView-2», висока продуктивність, найкраща у світі точність геоприв'язки одержуваних знімків — близько 3 м без використання наземних опорних точок — забезпечуються застосуванням нової системи тривісної стабілізації та нової системи астроорієнтації на основі зоряних датчиків, яка раніше не використовувалася на цивільних КА [http://www.geoeye.com/CorpSite/products/earth-imagery/geoeye-satellites.aspx].

Щодо КА «GeoEye-1», то однією із головних його особливостей є найвища в світі точність геоприв'язки знімків без використання наземних опорних точок. Так, виключно за орбітальними даними середня квадратична похибка геоприв'язки знімка «GeoEye-1» складає всього 1.5 м [9]. Це означає, що координати контурних точок на знімках можуть бути визначені з середньою квадратичною похибкою 1.5 м без використання наземних опорних точок.

Одним із найефективніших підходів до покращення геоприв'язки є реалізація «грубої» прив'язки за орбітальними даними з подальшим уточненням прив'язки та орторектифікації із використанням RPC-коефіцієнтів, математичних моделей руху КА та моделей сенсорів, формування та використанням глобальних мозаїк знімків і цифрових моделей рельєфу, баз даних наземних опорних точок, спеціальних програмних продуктів тощо. Саме таким шляхом були реалізовані системи високоточної прив'язки даних космічних систем ДЗЗ «Landsat», «Spot», «RapidEye» та інших.

Для порівняння, точність прив'язки даних ДЗЗ космічних апаратів «Spot 1—4» за орбітальними даними була лише 350 м (ортопривязка — 10 м). Після формування глобального покриття SpotMAPS (розрізненність до 2.5 м) із використанням цифрових моделей Reference3D, Ref3D alpha, та SRTM DEM і наземних опорних точок GCPs (дані IKONOS, місцеві карти та ін.) для КА «Spot 5—7» точність автоматичної геоприв'язки визначається на рівні 10 м та краще [http://www.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r329_9_spotsatellitetechnicaldata_en_sept2010.pdf].

За схожою, але більш раціональною схемою реалізовано підходи до уточнення прив'язки даних космічної системи «RapidEye», яка на сьогодні є однією із найближчих до системи «Січ-2» за своїми тактико-технічними характеристиками. Причому схожість двох систем полягає і у характеристиках розрізненності, спектральних діапазонів, а також у наявності проблемних питань щодо точності геоприв'язки зображень. Тому досвід їхнього вирішення в ході цільового використання КА «RapidEye» та комерційної реалізації видової продукції є особливо актуальним для розвитку і вдосконалення української національної космічної системи ДЗЗ «Січ».

Система «RapidEye» складається із п'яти ідентичних КА ДЗЗ та відповідного наземного сегменту. Оскільки КА «RapidEye» фінансувалася за рахунок кредиту із визначеним терміном погашення, то при створенні та в ході функціонування КА «RapidEye» було передбачено ряд конструкторських рішень, які обумовлюють максимальну ефективність використання бортового ресурсу усіх п'яти КА системи. Зокрема, такі ефективні рішення були прийняті і щодо поліпшення точності прив'язки космічних знімків з КА системи.

На етапі попередньої обробки даних «RapidEye AG» виконувалася прив'язка отриманих космічних знімків по орбітальних даних. При цьому, згідно із специфікаціями на програмне забезпечення, яке було розроблене фірмою MDA, похибка прив'язки за орбітальними даними без використання наземних опорних точок, але з проведенням розрахунку математичної RPC моделі руху КА, не мала перевищувати 230 м [4].

Для уточнення геоприв'язки була використана мозаїка космічних знімків «Landsat LGS2000» (GEOCOVER). На основі мозаїки GEOCOVER фахівцями «RapidEye AG» було створено базу даних наземних контрольних точок (Ground Control Points — GCPs), за якими зараз і проводилось уточнення прив'язки даних з супутників «RapidEye», а також розроблено нове програмне забезпечення для інтерактивної процедури уточнення прив'язки.

При цьому по районах особливого інтересу (Європа, Північна Америка, найбільш розвинені країни Південної Америки та Африки) провадились систематичні роботи щодо згущення бази даних контрольних точок із залученням значної кількості підготовлених фахівців [www.rapideye.com].

Алгоритм точної геоприв'язки RapidEye використовує прив'язку комічних знімків за орбітальними даними та за результатами розрахунку RPC моделі руху КА, лише як перший етап загальної високоточної прив'язки [5].

На другому етапі реалізовано автоматизований інтерактивний алгоритм уточнення прив'язки космічних знімків з використанням наземних опорних точок (GCP), що мають точні координати по широті і довготі, а також відомості про висоту кожної точки над рівнем моря [4]. Після цього оператор проводить інтерактивну корекцію прив'язки знімка.

В результаті на основі внесених оператором уточнень програма провадить автоматичний перерахунок RPC-коефіцієнтів і формує продукт рівня обробки 1В (розрізненність 6.5 м). Подальша обробка такого продукту рівня 1В полягає у виконанні процедури орторектифікації кожного з отриманих частин знімка, яка провадиться за допомогою програмного фотограмметричного модуля — BAE SocetSet (версія SocetSet v 5.6).

Таким чином, в інтересах покращення прив'язки знімків КА «Січ-2» можна використати успішний досвід «RapidEye AG» та інших провайдерів даних ДЗЗ щодо використання опорних мозаїк знімків «Landsat» та ЦМР SRTM, які перебувають у безкоштовному відкритому доступі, для автоматичного пошуку контрольних точок та уточнення геоприв'язки вихідних даних.

АЛГОРИТМІЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ДАНИХ КА «СІЧ-2»

Для реалізації програмного забезпечення (ПЗ) географічної прив'язки даних КА «Січ-2» розроблено трирівневу клієнт-серверну. При цьому обробка супутникових даних відбувається на сервері, а клієнтське ПЗ призначене для керування процесом обробки та контролю якості отриманої продукції. Даний типу архітектури системи обрано з огляду на те, що алгоритм геоприв'язки є автоматичним та вимагає мінімального втручання оператора, а процес геоприв'язки супутникових даних до базового покриття вимагає значних ресурсів, у першу чергу дискового простору.

Програмне забезпечення географічної прив'язки даних КА «Січ-2» створено відповідно до розробленої архітектури, схеми бази даних та програмних інтерфейсів і складається з таких компонентів:

- компонент обробки даних, призначений для безпосереднього геоприв'язування даних з відповідним програмним інтерфейсом;
- інтерфейсу користувача, що відповідає стандартам Open Geospatial Consortium [2];
- бази даних опорних знімків базового покриття GEOCOVER 2000 [7].

Компонент обробки даних. Компонент обробки даних призначено для автоматичної прив'язки супутникових зображень до базового покриття (опорної мозаїки знімків), ідентифікації моделей геометрії зйомки та перетворення знімка у вибрану проекцію. Компонент здійснює автоматичний пошук контрольних точок (GCP) шляхом аналізу частин зображення та базового покриття. При цьому створюється щільна мережа контрольних точок, рівномірно розподілена по усьому зображенню. Для прив'язки зображення створюється модель геометрії зйомки на основі параметрів зображення і відповідної моделі рельєфу та виконується ідентифікація параметрів моделі на основі знайдених контрольних точок.

Блок-схему функціонування модулів компонента геоприв'язки даних представлено на рис. 1, паралелограмами позначено вихідні дані, що необхідні для роботи ПЗ, прямокутниками — програмні модулі обробки даних, паралелограмами з штриховкою — кінцева продукція ПЗ.

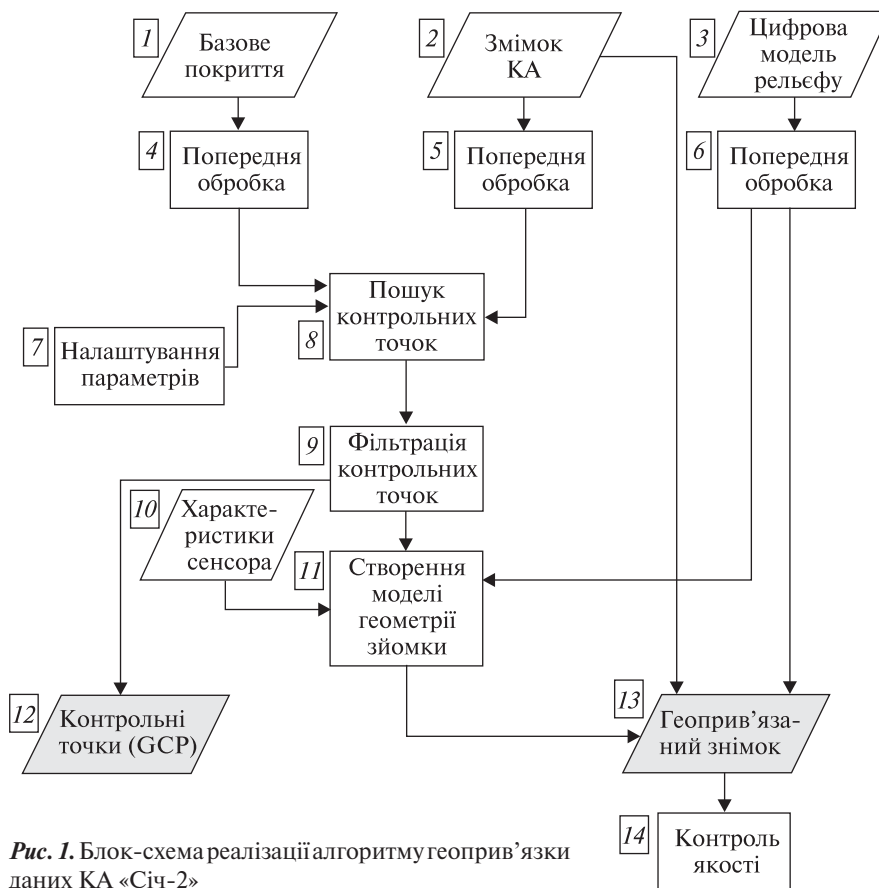


Рис. 1. Блок-схема реалізації алгоритму геоприв'язки даних КА «Січ-2»

Вихідними даними для роботи компонента є базове покриття 1, знімок з КА «Січ-2» 2 у форматі 1В, цифрова модель рельєфу 3 та характеристики сенсора 10. В результаті роботи створюються контрольні точки 12 та геоприв'язаний знімок КА «Січ-2» 13.

Процес програмної прив'язки починається з пошуку еталонних даних 1, 3, до яких і буде здійснюватись географічна прив'язка знімка «Січ-2» (2). Програмне забезпечення знаходить територіальне розміщення вихідних даних КА «Січ-2» та створює відповідну мозаїку зображень базового покриття GEOCOVER 2000 (1). Таким чином формується файл базового зображення 5, що складається з мінімальної кількості еталонних зображень, необхідних для повного перекриття вихідного знімка КА «Січ-2» (2). Цей процес здійснюється на основі апіорної прив'язки по орбітальних даних з буфером 10 км

для врахування можливих похибок прив'язки за орбітальними даними. Для вихідного знімка КА «Січ-2» відбувається перетворення координат (4) у проекцію UTM, що відповідає проекції базового покриття. Аналогічна попередня обробка даних виконується для цифрової моделі рельєфу (6).

Після цього провадиться пошук контрольних точок (8) на вихідному та базовому зображеннях, відносно яких буде здійснюватись перетворення вихідного зображення. Цей процес є автоматичним. Пошук контрольних точок здійснюється на основі локальної кореляції даних спектральних каналів зображень в близькому інфрачервоному діапазоні КА «Січ-2» та GEOCOVER 2000 (канал № 4 сенсора ETM+) [7]. Значення мінімально допустимого рівня кореляції між даними та інших основних параметрів алгоритму задається в конфігураційному файлі ПЗ (7).

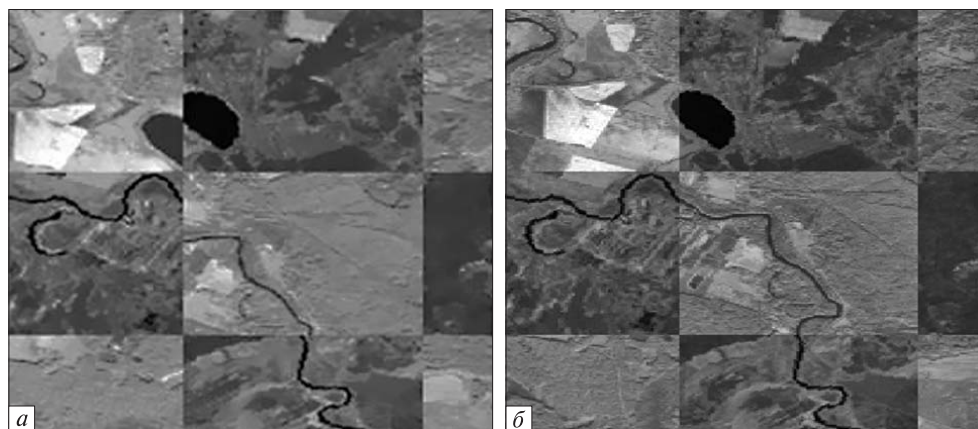


Рис. 2. Візуалізація результатів географічного прив'язування зображення «Січ-2»: *а* — початковий знімок, *б* — прив'язаний знімок

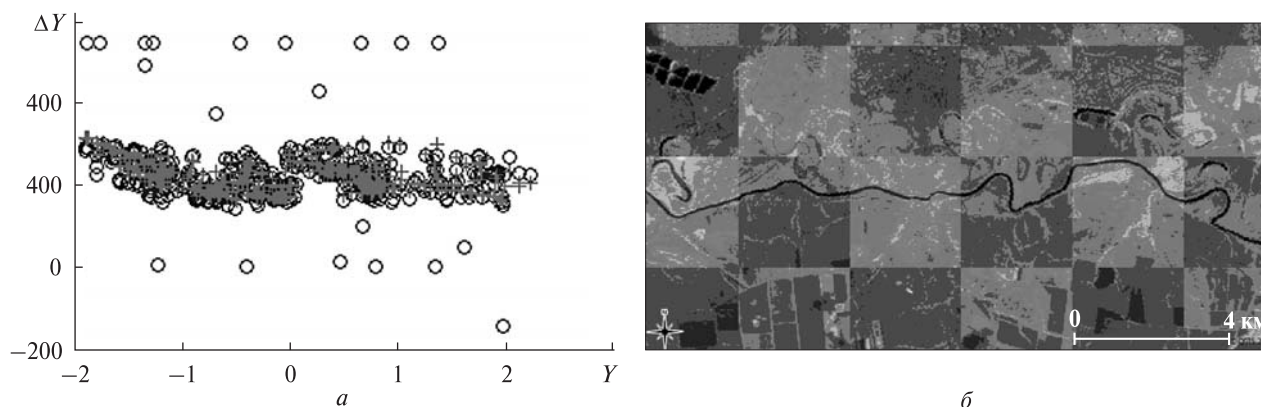


Рис. 3. Результат геоприв'язки даних «Січ-2» з використанням лінійного перетворення: *а* — графік залежності між зміщенням контрольних точок в напрямку руху супутника від положення супутника на траєкторії руху у момент зйомки, *б* — «шахівниця» з геоприв'язаного знімка «Січ-2» та базового зображення

Після формування контрольних точок проводиться їхня фільтрація 9 і будується модель перетворення координат знімку у координати базового покриття 11 з використанням характеристик сенсора 10. Якщо кількість точок, що пройшли фільтрування, є достатньою для перетворення вихідного зображення, то відбудеться процес геоприв'язки. Для візуальної оцінки точності географічної прив'язки створюються додаткові продукти — «шахівниці», складені з ділянок базового, вхідного та результуючого зображень. Приклад продуктів наведено на рис. 2. Видно, що прив'язаний знімок краще відповідає базовому покриттю (дивись контур зображено-

го озера та структуру річки). Такі географічні об'єкти, як озера, ріки, мости, дороги найменше піддаються впливу протягом тривалого часового періоду та можуть слугувати контрольними об'єктами для прив'язки зображень до базового покриття.

У більшості випадків для геоприв'язки даних КА «Січ-2» з точністю до 100 м достатньо використовувати афінне перетворення координат. На рис. 3, *а* наведено графік залежності між зміщенням контрольних точок в напрямку руху супутника від положення супутника на траєкторії руху в момент зйомки, кружками показано вихідні контрольні точки, знайдені шляхом автоматич-

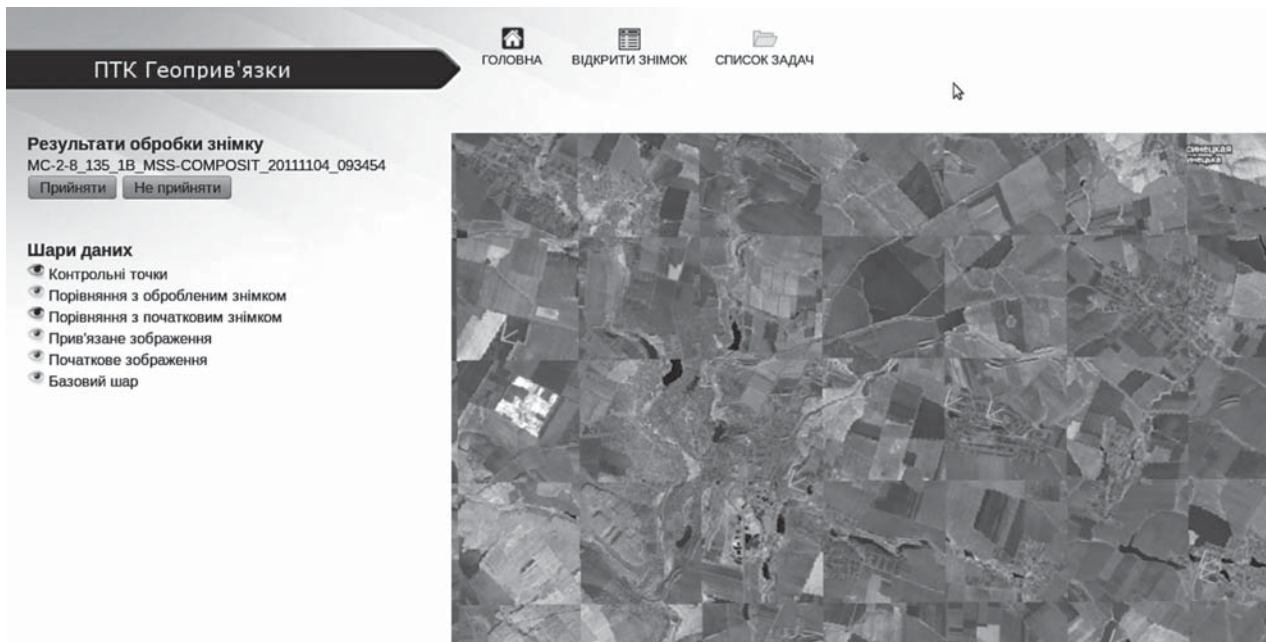


Рис. 4. Інтерфейс візуалізації результатів обробки, порівняння знімка базового покриття з початковим знімком

ного порівняння знімка КА «Січ-2» та зображення базового покриття, хрестиками — відфільтровані контрольні точки, що використовуються для оцінювання параметрів моделі перетворення координат. На рис. 3, б показано геоприв'язане зображення «Січ-2» з використанням афінного перетворення координат.

Інтерфейс користувача. Інтерфейс користувача дозволяє імпортувати вихідні знімки КА «Січ-2», виконувати геоприв'язування даних у пакетному режимі, моніторити обробку даних та керувати чергою завдань, моніторити процес геоприв'язки, а також провадити візуальний аналіз якості продукції.

Для аналізу якості результатів геоприв'язки даних розроблено геопросторовий Web-інтерфейс, що працює у веб-браузері. Інтерфейс задовольняє стандарти HTML5, а візуалізація геопросторових даних виконується за допомогою бібліотеки OpenLayers [3]. Для візуального аналізу надаються наступні шари даних: базове покриття, вихідне зображення КА «Січ-2», геоприв'язане зображення (результат роботи ПЗ геоприв'язки), шар з даними порівняння вихідного зображення та базового покриття, представлений у вигляді

шахівниці з даними базового покриття та вихідного зображення у сусідніх квадратах, шар з даними порівняння прив'язаного зображення та базового покриття, векторний шар з контрольними точками (рис. 4). Інтерфейс дозволяє експортувати результати обробки для подальшого використання на геопорталі «Січ-2» та для розв'язання тематичних задач [1, 3].

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ГЕОГРАФІЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ДАНИХ КА «СІЧ-2»

Аналіз вихідних даних. Програмне забезпечення географічної прив'язки даних КА «Січ-2» було апробоване на тестовому наборі супутникових зображень, що складався зі 108 зображень КА ДЗЗ «Січ-2». Зображення рівномірно покривають територію України, а даний набір є репрезентативним з точки зору представлення варіабельності ландшафтів та рельєфу на території України. На рис. 5 представлено схему розміщення даних тестового набору по території України. Для кожного супутникового зображення вказана абсолютна величина кута крену повороту КА під час проведення зйомки, що істотно впливає на складність процедури географічної прив'язки даних.

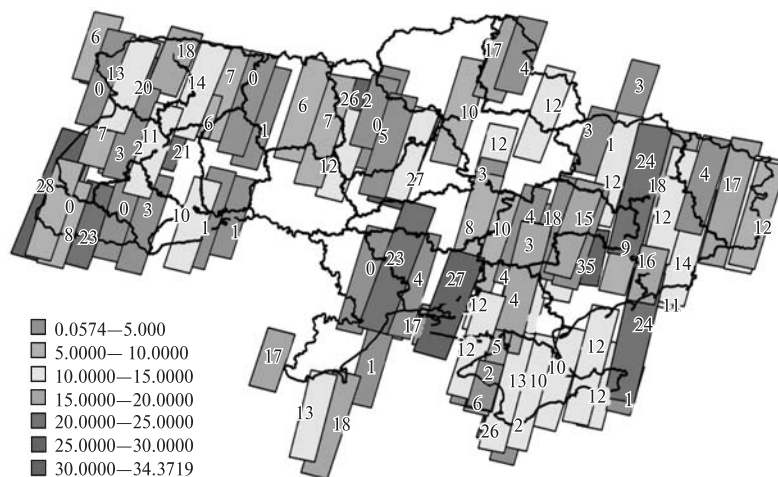


Рис. 5. Просторовий розподіл тестового набору знімків КА «Січ-2» зі значеннями кутів крену (абсолютна величина)

На основі проведеного аналізу метаданих, що додаються до супутникових зображень, було визначено, що діапазон значень кута крену зйомки змінюється від -35° до $+35^\circ$ та добре апроксимується гауссівським розподілом випадкової величини з центром у 0 (рис. 6). Таким чином, основну кількість знімків відзнято в околі надиру з кутом крену $0-12^\circ$. Діапазон зміни значень кутів тангажу складає $[-0.53; -0.43]$, а кута рискання відповідно складає $[-4.3; -0.5]$. В загальному значення кутів тангажу та рискання є локалізованими, і мають невеликий діапазон зміни значень порівняно з розподілом кута крену.

Аналіз точності географічної прив'язки. Для оцінки точності геоприв'язки було створено множину контрольних точок на еталонному зображенні GEOCOVERT 2000, вихідному зображенні КА «Січ-2», та вже обробленому зображенні КА «Січ-2», що пройшло процес геоприв'язування. Точки відмічалися за допомогою фотоінтерпретації базового покриття та знімків КА «Січ-2». Для кожного знімку було відмічено п'ять точок, що відповідають локалізованим об'єктам, які легко визначити візуально на знімках. Оператором були відібрані ті об'єкти, які не зазнали змін протягом часу, що пройшов між зйомкою базового покриття та зйомкою даних «Січ-2» (10–12 років). Наприклад, будівлі, мости, дороги, частково межі полів і т. д. Для переважної кількості знімків точки розташовані рівномірно по зображенню, по кутах та у центрі.

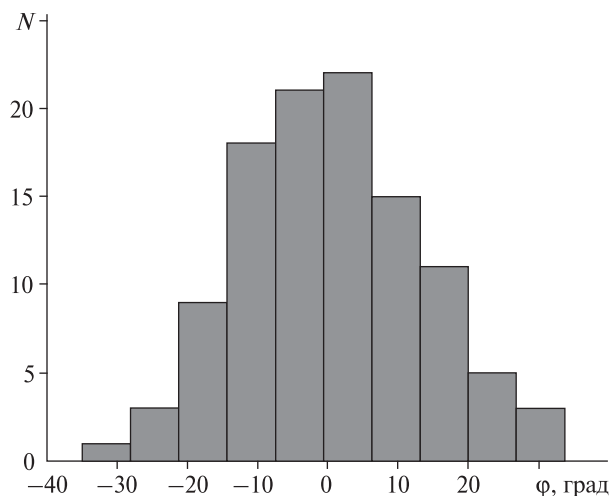


Рис. 6. Розподіл кількості N знімків тестового набору по значеннях кута крену φ

На основі даної інформації була обрахована середня квадратична похибка прив'язки між еталонним зображенням та зображенням «Січ-2» рівня обробки 1В, а також між еталонним зображенням та прив'язаним зображенням КА «Січ-2» за допомогою програмного забезпечення. Результати графічно представлено у вигляді гістограми розподілу похибок на рис. 7. Беручи до уваги середнє відношення похибок прив'язки вихідних (рівня 1В) та оброблених зображень, можна стверджувати, що загальна точність прив'язки знімків збільшилася у 8.15 раза.

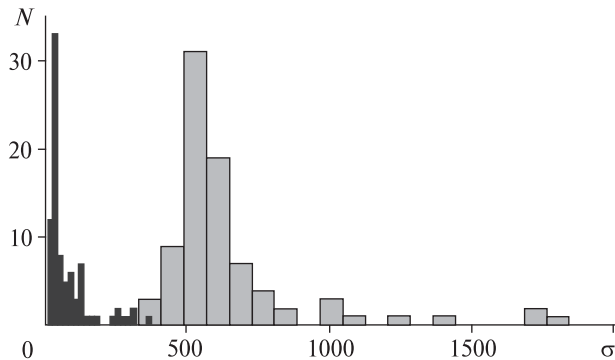


Рис. 7. Розподіл кількості N знімків вихідних зображень КА «Січ-2» з рівнем обробки 1В та прив'язаних зображень відносно базового покриття по значеннях середніх квадратичних похибок σ прив'язки

Результати автоматичного уточнення прив'язки знімків КА «Січ-2»

Результат прив'язки	Кількість знімків
Прив'язано добре з стандартним набором параметрів, середня квадратична похибка прив'язки менша за 100 м	52
Оброблено повторно з адаптованими параметрами. Відхилення по контрольних точках менша за 100 м	15
Прив'язано з відхиленням 100—300 м (проблеми лінійної моделі, низька кореляція даних, значна територія вкрита морем тощо)	21
Оброблено повторно з адаптованими параметрами і відхилення по контрольних точках більше 100 м	5
Не оброблено (засвічені, захмарені, спотворені, зимові засніжені знімки)	15

В результаті програмної обробки вихідних даних з 108 представлених знімків 15 зображень не пройшли процедуру програмної прив'язки. За результатами географічної прив'язки зображень їх було розділено на п'ять категорій в залежності від точності прив'язки та вихідних параметрів програмного забезпечення. Відповідну класифікацію зображень наведено у таблиці.

На основі аналізу необроблених зображень були виявлені фактори, які ускладнюють або унеможливають процес автоматичної геоприв'язки: значна площа знімка (більше 80 %)

вкрита хмарами, сильний вплив атмосферних явищ (атмосферна димка, напівпрозорі хмари тощо); дані «Січ-2» були відзняті за зимовий період, що призводить до значних змін у земному покритті (значна частина території вкрита снігом або льодом) та ускладнює пошук контрольних точок; дані «Січ-2» засвічені, зокрема через неоптимальний вибір коефіцієнта підсилення сенсора.

Після повного аналізу результатів геоприв'язки зображень, та результатів обробки даних КА ДЗЗ «Січ-2» виявилось, що найбільш вагомими проблемами, що ускладнювали геоприв'язування знімків, такі: неактуальне базове покриття (7 % знімків), значна хмарність (17 %), зимові зображення (7 %), засвіченість знімка (7 %), зображення гірської місцевості (2 %), нелінійні спотворення (5 %).

Аналіз наявних нелінійних спотворень. Коливання КА «Січ-2», що відбуваються під час зйомки під кутом до поверхні Землі, викликають зміщення об'єктів на зображенні відносно їхнього реального положення. Такого роду зміщення зручно аналізувати в системі координат, осі якої паралельні та перпендикулярні до траєкторії руху супутника. За певних умов руху супутника дані зміщення можуть мати нелінійний характер. Тому для геоприв'язки таких знімків необхідне використання нелінійного перетворення координат, що компенсувало б нелінійний характер зміщень.

У випадку, коли для знімка знайдено набір контрольних точок, що не є репрезентативним, тобто контрольні точки покривають не всю територію знімка (у випадку великої кількості води на ериторії чи локальних скупчень хмар, туманностей, або ж особливостей ландшафту), використання нелінійного перетворення не є бажаним. В такому випадку нелінійна модель матиме значну похибку узагальнення, тобто матиме значні похибки прив'язки.

При аналізі даних рівня обробки 1В виявилось, що нелінійність зміщень координат знімка відносно реальних найбільше виражена для зміщень, паралельних до траєкторії руху супутника. Дана нелінійність з'являється в результаті прив'язки знімків за орбітальними даними.

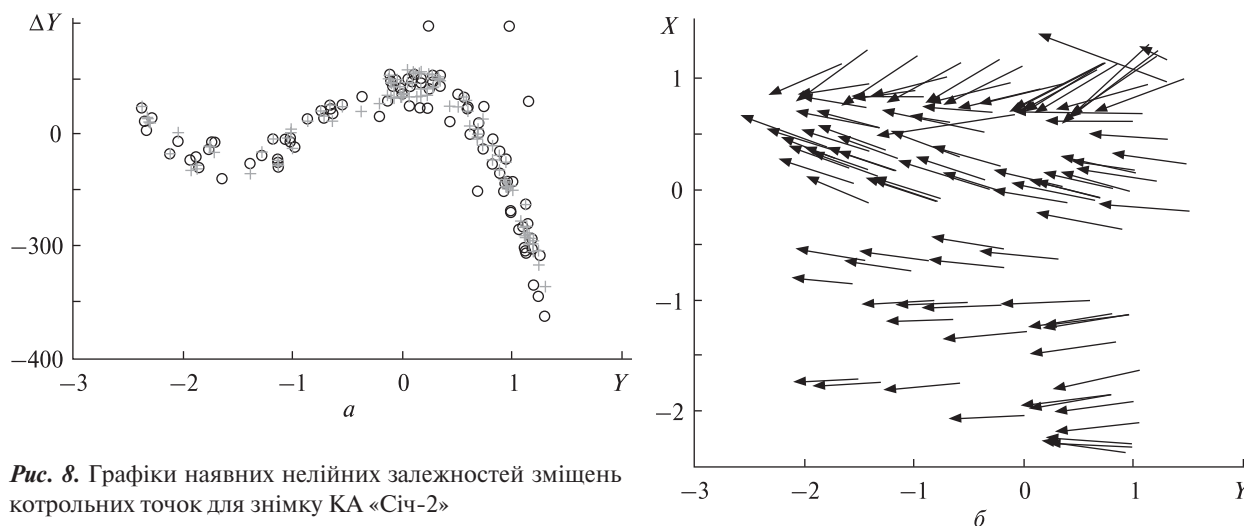


Рис. 8. Графіки наявних нелінійних залежностей зміщень контрольних точок для знімку КА «Січ-2»

На рис. 8, а приведено залежність між зміщенням ΔY контрольних точок в напрямку руху супутника від положення Y супутника на траєкторії руху в момент зйомки. На рис. 8, б показано напрямки зміщення знайденого набору контрольних точок.

ВИСНОВКИ

Автори розробили інформаційну технологію та створили програмне забезпечення для автоматичної геоприв'язки супутникових зображень КА ДЗЗ «Січ-2». Для програмного забезпечення створено відповідний Web-інтерфейс з можливістю доступу та використання в рамках локальної мережі.

За еталонні дані для геоприв'язки було використано базове покриття GEOCOVER 2000, створене з супутникових знімків «Landsat 7 ETM», яке покриває більшу частину поверхні Землі. Для підвищення точності геоприв'язки були розроблені та реалізовані алгоритми, що оцінюють відповідні перетворення координат на основі ідентифікації контрольних точок на базовому покритті та знімку «Січ-2» рівня обробки 1В.

В результаті відповідного аналізу було експериментально визначено, що точність географічної прив'язки знімків «Січ-2» в середньому підвищилась у 8.15 разів, з 500—2000 м для даних рівня обробки 1В до 50—300 м. З них 72 % прив'язано з похибкою, меншою за 100 м, а 28 % —

з похибкою 100—300 м внаслідок застарілого базового покриття, наявності значної кількості водних об'єктів. 15 знімків не були прив'язані унаслідок наявності значної хмарності на знімках, снігового покриву або втрати актуальності базового покриття.

Для подальшого підвищення точності та робастності геоприв'язки необхідні наступні кроки.

Актуалізація базового покриття та уточнення моделей рельєфу. Базове покриття має сеновлювати на основі даних «Січ-2», що дозволить збільшити точність прив'язки за рахунок збільшення точності контрольних точок та збільшення їхньої репрезентативності. За нашими оцінками, відносна точність географічної прив'язки вдасться покращити до 20—50 м у залежності від наявного рельєфу.

Для подальшого врахування рельєфу при геоприв'язці необхідне використання фізичної моделі сенсора (замість емпіричної, яка використовується в ПЗ), необхідна розробка програмного забезпечення для уточнення параметрів орієнтації КА під час зйомки та проведення орторектифікації для врахування лінійних зміщень рельєфу.

Для прив'язки знімків, зроблених у зимовий період, необхідна розробка нових робастних методів пошуку контрольних точок, спеціально адаптованих для порівняння знімків у різні періоди. Подібні алгоритми мають бути менш чут-

ливими до змін ландшафту внаслідок неактуальності базового покриття, що покращить точність геоприв'язки для тих територій, для яких оновлення базового покриття є ускладненим.

1. Галлего Х., Кравченко А. Н., Куссуль Н. Н. и др. Анализ эффективности различных подходов для классификации посевов на основе спутниковой и наземной информации // Проблемы управления и информатики. — 2012. — № 3. — С. 123—134.
2. Кравченко О. М., Шелестов А. Ю. Застосування реалізацій стандартів OGC для створення розподілених систем візуалізації та надання геопросторових даних // Проблеми програмування. — 2006. — № 2—3. — С. 135—139.
3. Шелестов А. Ю., Кравченко О. М., Волошин С. В. и др. Web-портал системи агромоніторингу // Наука та інновації. — 2011. — 7, № 3. — С. 30—35.
4. Beckett K., Rampersad C., Putih R., et al. RapidEye product quality assessment // Proc. SPIE. — 2009. — 7474. — P. 74741. — (Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIII / Eds R. Meynart, S. P. Neeck, H. Shimoda).
5. Cheng P., Sustera J. Using RapidEye data without ground control. Automated high-speed high-accuracy orthorectification and mosaicking // GEOinformatics. — 2009. — N. 7. — P. 36—40.
6. Kramer H. J. Observation of the Earth and its environment — Survey of missions and sensors. — 4th ed. — Berlin : Springer-Verlag, 2002. — 1510 p.
7. MDA Federal (2004), Landsat GeoCover ETM+ 2000 Edition Mosaics Tile N-03-05.ETM-EarthSat-MrSID, 1.0, USGS, Sioux Falls, South Dakota, 2000.
8. Nowak Da Costa J. K. RapidEye — initial findings of geometric image quality analysis. — Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union. EUR — Sci-

entific and Technical Research series. — 2009. — 16 p. — doi:10.2788/52504.

9. Scott P. W. On-orbit spatial image quality assessment of the digitalglobe quickbird instrument — panchromatic band // Proc. from the 2004 ASPRS Annual Conference, Denver Colorado, 2004.

Стаття надійшла до редакції 26.12.12

О. П. Федоров, Н. М. Куссуль, А. Н. Кравченко,
С. Л. Янчевський, Р. М. Басараб, В. М. Кригин,
М. С. Лавренюк

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ «СИЧ-2» ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Предложена информационная технология и программное обеспечение геопривязки данных КА «Сич-2». Проанализирована точность географической привязки данных исходящих снимков КА «Сич-2» и снимков с уточненной геопривязкой. Определены проблемы и предлагаются пути их решения.

О. П. Федоров, Н. М. Куссуль, О. М. Кравченко,
С. Л. Янчевський, Р. М. Басараб, В. М. Кригин,
М. С. Лавренюк

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR GEOREFERENCE OF «SICH-2» DATA FOR UKRAINE

Information technology and software for geographic reference of the spacecraft «Sich-2» data were proposed. We performed an analysis for the accuracy of georeferenced data for output images of the «Sich-2» spacecraft and for images with refined georeference. Some existing problems are determined and some ways for their solutions are proposed.