

## ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЧНОЇ ГЕОГРАФІЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ КС ДЗЗ «СІЧ-2»

*Н.М. Куссуль, Р.М. Басараб, О.М. Кравченко, М.С. Лавренюк, В.М. Кригін, К.В. Рева*

Інститут космічних досліджень НАНУ-ДКАУ,  
03680, Київ, проспект Академіка Глушкова 40.  
Тел.: (+380-44) 526 2553, e-mail: inform@ikd.kiev.ua

У доповіді описаний досвід до створення методів та алгоритмів прив'язки даних космічної системи (КС) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) «Січ-2» для території України. Програмне забезпечення протестоване на наборі тестових зображень, що розподілені по всій території України. Експериментально показано підвищення точності прив'язки даних з використанням запропонованої методики та розробленого програмного забезпечення.

This paper describes practices in development of methods and algorithms of remote sensing data georeferencing for space system "Sich-2" over the territory of Ukraine. Software was tested on the dataset of Sich-2 images, which were made over the Ukrainian territory. Also this paper presents the relevance of application of the developed software system, based on confirmed experimental investigations.

### Вступ

Питання автоматизації процесу географічної прив'язки супутникових зображень є актуальним для космічної системи, що постійно надсилає інформацію до наземного комплексу прийому, зберігання та обробки супутникових даних. Точність прив'язки зображень напряму впливає на доцільність їх використання при розв'язанні задач класифікації супутникових зображень та оцінювання площ сільськогосподарських культур [1–3], прогнозування врожайності [4–5] та багато інших. Це відповідним чином впливає на ліквідність даних, їх ринковий попит, а як результат і на ціну.

Існують алгоритми географічної прив'язки супутникових зображень, що використовують орбітальні параметри зйомки. А саме, інформацію про положення, орієнтацію космічного апарату (далі КА) та модель сенсору. Практично найкращу в світі точність прив'язки мають супутники високого просторового дозволу (0,41–0,8 м) GeoEye-1, WorldView-1 і WorldView-2 (біля 3 м). Така точність забезпечується використанням нових систем тривісної стабілізації та астроорієнтації на основі зоряних датчиків [6]. Однак, зазначені технології практично не використовуються на цивільних чи комерційних супутниках. Та й дані надвисокого просторового дозволу зазвичай є доступними виключно для військових, з ряду зрозумілих причин. Наряду з цим, отримання інформації про аналітичну модель сенсору КА, його характеристики і т. д. не є тривіальним завданням (якщо й взагалі можливим).

Загальновідомо, що більшість країн світу, і Україна в їх числі, не мають настільки розвиненої космічної галузі, як США. Так само, як і можливості регулярно виводити на орбіту Землі нові КА ДЗЗ. В такому випадку одним з найбільш раціональних підходів до розв'язання розглядуваної задачі є реалізація прив'язки з використанням опорної мозаїки знімків, цифрової моделі рельєфу (далі ЦРМ) та наборів наземних опорних точок. Такий підхід вимагає значних затрат людського потенціалу при реалізації. Часто процес уточнення прив'язки виконується з безпосередньою участю оператора – експерта, що шляхом фото інтерпретації формує набір опорних точок на зображенні та опорній карті, чи мозаїці знімків. Актуальність такої методики напряму залежить від наданої оператором інформації. У випадку уточнення параметрів прив'язки великогабаритного зображення необхідна значна кількість опорних точок. Наприклад для зображення розмірами 250 км<sup>2</sup> потрібно як мінімум 100 опорних точок для його точної геоприв'язки. Що в свою чергу вимагає приблизних затрат у розмірі від 2 до 10 люд./год. на зображення. Такі часові та кадрові затрати не є допустимими для оперативної обробки даних в масштабних проектах.

Візьмемо до уваги космічну систему (далі КС) ДЗЗ «Січ-2». Базова точність прив'язки даних цієї системи складала від 250 до 2000 м. Це показники рівня супутників 10-20 річної давності. А отже, інформація, котру надавала дана КС практично не являлася конкурентоспроможною в порівнянні з даними Rapideye (точність прив'язки 20-50 м), Landsat5 (30 м) чи Spot5 (30 м). І хоч система вже офіційно визнана не функціуючою (з 12 грудня 2012 року), проте Україною планується запуск нового КА ДЗЗ «Січ-2М», котрий буде створений на базі «Січ-2». Тому актуальною постає задача розроблення автоматизованої програмної системи, що могла б здійснювати автоматичну геоприв'язку супутникових зображень в оперативному режимі.

В даній роботі буде розглянутий існуючий досвід в створенні алгоритмів прив'язки даних космічної системи ДЗЗ «Січ-2» для території України. А також, представлені розробки по створенню, програмного забезпечення та програмно-технічного комплексу (ПТК) автоматичної географічної прив'язки даних КА «Січ-2». Описані результати чисельного експерименту та сформовані перспективні курси розвитку з підвищення точності геоприв'язки супутникових даних.

© Н.М. Куссуль, Р.М. Басараб, О.М. Кравченко, М.С. Лавренюк, В.М. Кригін, К.В. Рева, 2014

### Підхід до розв'язання задачі геоприв'язки даних «Січ-2»

Необхідність реалізації програмного забезпечення автоматичної геоприв'язки даних «Січ-2» обумовлюється наступними факторами:

1. занадто низька базова точність прив'язки за орбітальними параметрами;
2. необхідність впровадження програмного забезпечення геоприв'язки до наземного комплексу прийому та обробки даних;
3. мінімізація затрат часу та людських ресурсів на обробку даних.

Традиційно процес уточнення геоприв'язки даних ДЗЗ проходить наступним чином. Оператор завантажує вихідне та базове (добре прив'язане) зображення до спеціалізованого програмного забезпечення візуалізації та обробки даних ДЗЗ. Наприклад, QGIS, ENVI, ERDAS IMAGINE, та ін. Потім шляхом фото інтерпретації (на основі власного досвіду) знаходить ідентичні об'єкти на зображеннях, та відмічає їх. В основному, в якості таких об'єктів виступають перехрестя доріг, мости, будівлі та інші антропогенні об'єкти. Тобто об'єкти, які мало піддаються впливу часу. Робиться це з метою уникнення похибок у випадку, якщо між зйомкою базового (базових) та вхідного зображень пройшов деякий час. Цей процес достатньо трудомісткий, та вимагає ґрунтовних знань в використанні зазначеного програмного забезпечення. Та й саме програмне забезпечення не завжди є загальнодоступним й безкоштовним.

В загальному випадку, підхід до розв'язання задачі геоприв'язки супутникових даних складається з наступних етапів: автоматичне створення наборів опорних точок на вихідному зображенні та базовій мозаїці опорних зображень, співставлення наборів опорних точок, фільтрація наборів опорних точок та побудова моделі перетворення координат та застосування моделі для перетворення вхідного зображення у відповідну проекцію.

В рамках даної роботи, пошук контрольних точок здійснювався в 2 етапи: апріорної прив'язки по орбітальним даним з буфером 10км та безпосередньо пошуку контрольних точок на основі локальної кореляції даних зображень в близькому інфрачервоному каналі. Обраний підхід детально описаний в [7]. В якості знімків базового покриття була використана мозаїка зображень приладу ETM+, що встановлений на КА Landsat7. Рациональність використання обраної методики експериментально підтверджена на наборі тестових супутникових зображень КА «Січ-2» (рис. 1), що були відзняті по всій території України. Діапазон значень кута крену зйомки тестового набору даних змінювався від -35 до +35. Основна кількість зображень була відзнята в околі надиру (кут крену 0–12). В порівнянні з кутом крену, діапазони зміни кутів тангажу [-0,53; -0,43] та рискання [-4,3; -0,5] були локалізованими. Точність геоприв'язки даних «Січ-2» з використанням запропонованого алгоритму [7] була покращена приблизно у 8,15 разів (з 500–2000 м, в середньому для зображень, прив'язаних по орбітальних даних до 50–300 м після прив'язки розробленими методами).

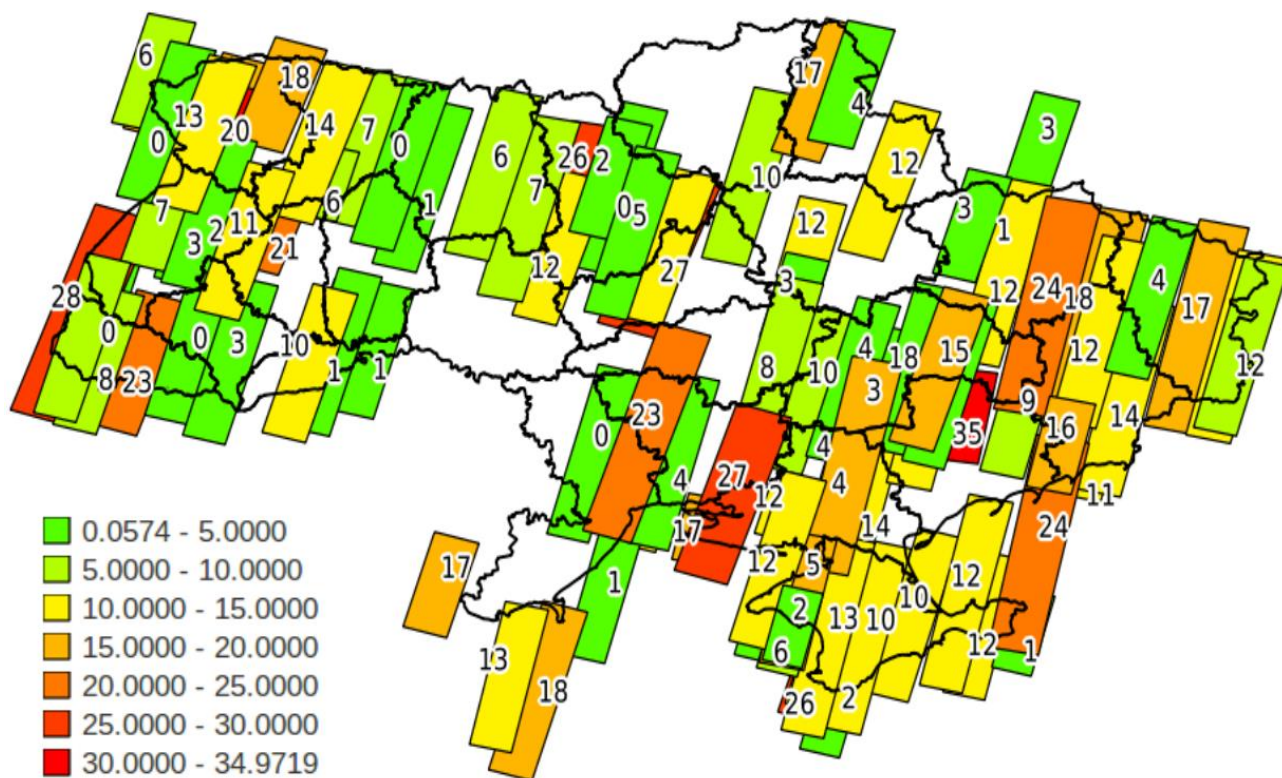


Рис. 1. Територіальне відображення набору тестових зображень КА «Січ-2» зі значеннями кутів крену

**Програмно-технічний комплекс геоприв'язки даних «Січ-2»**

Програмне забезпечення (далі ПЗ) географічної прив'язки даних КА «Січ-2» реалізовано на базі тривірневої клієнт-серверної архітектури та складається з наступних компонентів:

- компонент обробки даних, що призначений для безпосереднього геоприв'язки даних з відповідним програмним інтерфейсом;
- бази даних опорних знімків базового покриття GEOCOVER 2000 [8–10];
- інтерфейс користувача, що відповідає стандартам Open Geospatial Consortium [11].

Компонент обробки даних складається з програмних утиліт низького рівня з інтерфейсом командного рядку, що виконують попередню обробку даних, географічну прив'язку даних та пост-обробку даних.

Компонент здійснює автоматичний пошук контрольних точок (GCP) шляхом аналізу частин зображення та базового покриття. При цьому створюється щільна мережа контрольних точок, що 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-схема функціонування модулів компоненту геоприв'язки даних представлена на рис. 2. Дані відображені паралелограмами, а програмні модулі – прямокутниками.

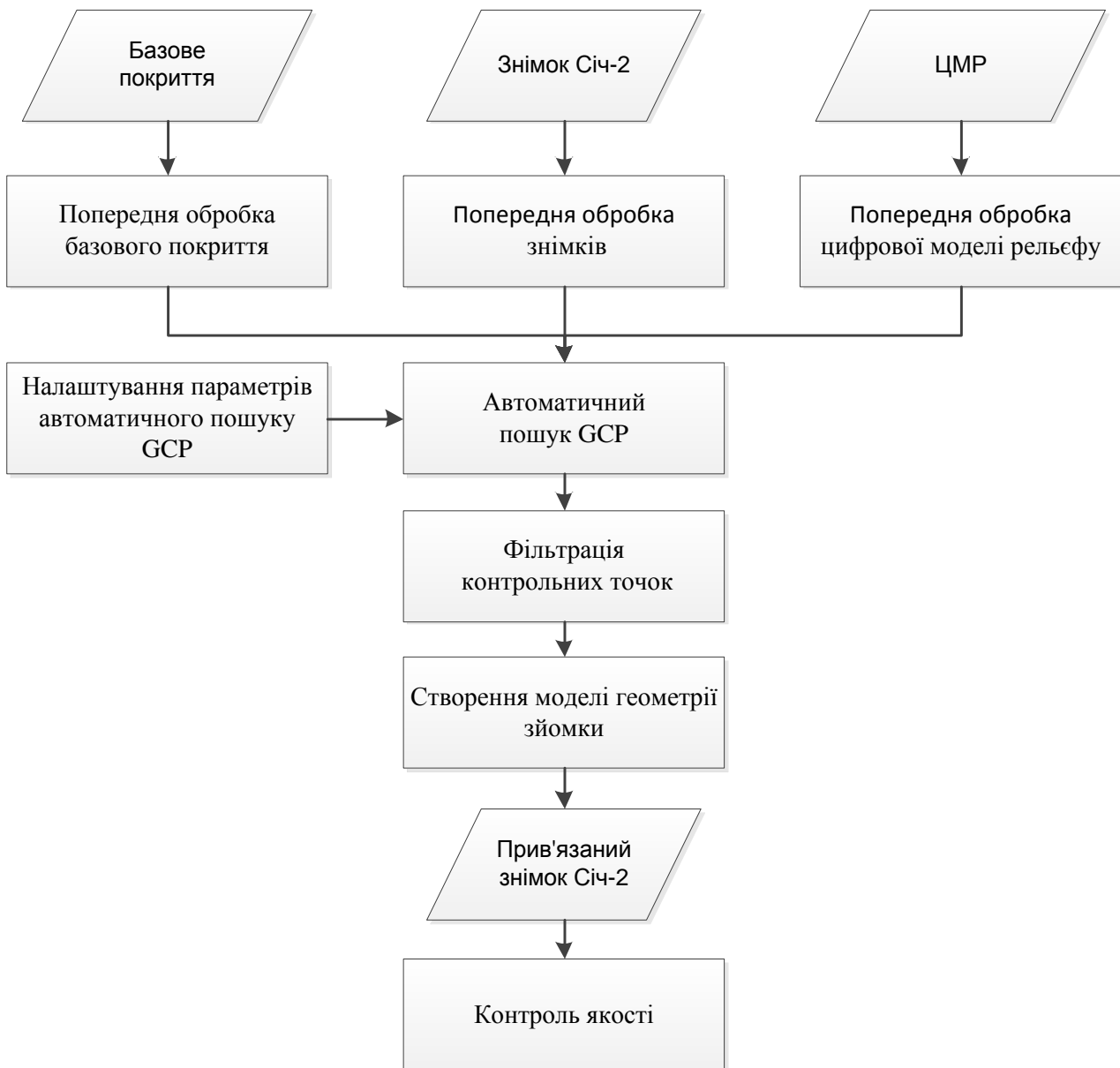


Рис. 2. Блок-схема реалізації алгоритму геоприв'язки даних КА Січ-2

Модуль попередньої обробки базового покриття призначений для відбору мінімальної необхідної кількості зображень базового покриття для здійснення пошуку GCP. Всі модулі попередньої обробки здійснюють перетворення вхідних файлів внутрішніх даних системи.

Модуль налаштування параметрів автоматичного пошуку GCP призначений для налаштування параметрів алгоритму автоматичного пошуку GCP. Він реалізований для мінімізації похибок прив'язки у залежності від:

- розрізнення знімку «Січ-2», базового покриття та ЦМР;
- спектральних характеристик вхідного знімку та базового покриття;
- проміжку часу, що минув між створенням базового покриття та зйомкою з КА;
- інших характеристик КА.

Модуль автоматичного пошуку контрольних точок створює репрезентативний набір контрольних точок, квазірівномірно розподілених по всьому зображенню «Січ-2». Модуль фільтрації контрольних точок призначений для коректування набору контрольних точок, у зв'язку з можливими помилками алгоритмів пошуку контрольних точок. Модуль перетворення системи координат створює моделі геометрії зйомки на основі відфільтрованого набору контрольних точок, та здійснює процес геоприв'язки. Модуль контролю якості забезпечує автоматичний та додатковий візуальний контроль якості прив'язки оператором ПЗ.

База даних системи містить наступну інформацію:

- дані базового покриття;
- дані цифрової моделі рельєфу;
- дані КА Січ-2, для яких необхідно провести геоприв'язку;
- проміжні та кінцеві результати обробки даних;
- продукти обробки даних, придатні для візуалізації інтерфейсною частиною ПЗ

В даній системі використано базове покриття GEOCOVER 2000, що доступне на безкоштовній основі. Детальні характеристики покриття наведено у таблиці.

Таблиця. Характеристики покриття GEOCOVER 2000

<i>Характеристика</i>	<i>Значення</i>
територія, що охоплена покриттям	до 90 % Земної кулі
спектральні канали	VNIR, SWIR, PAN
розрізнення (м)	30 (VNIR, SWIR), 15 (PAN)
абсолютна точність прив'язки, середньоквадратична (м)	50 м
часовий інтервал, для якого дане покриття є актуальним	2000-2001 pp
обсяг пам'яті, необхідний для зберігання базового покриття	1,2 Тб
спутникові дані	Landsat 7 ETM+
цифрова модель рельєфу	SRTM

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) призначена для створення моделі геометрії зйомки та кінцевої точної геоприв'язки знімку з КА. В даній системі використовується ЦМР SRTM С-діапазону, що розповсюджується безкоштовно та має розрізнення 90 м. Необхідний обсяг дискового простору для зберігання ЦМР складає 60 Гб.

Інтерфейс користувача веб-інтегрований. Такий спосіб реалізації був обраний з ряду причин. Зокрема з необхідності використання програмної системи кількома користувачами одночасно та необхідності віддаленого доступу до системи. При створенні веб-інтерфейсу програмної системи використовувалися мови програмування Java (реалізація клієнтської частини) та Python (програмний інтерфейс системи). Також був використаний фреймворк Django, бібліотеки jQuery та Celery. Користувачу надається можливість візуального перегляду «сирих» (неприв'язаних) даних «Січ-2», та результатів їх доприв'язки. Супутникова інформація відображається у вигляді ГІС проектів за допомогою серверної геоінформаційної системи Mapserver. Зручне для користувача, перемикання видимих / невидимих шарів проекту, а також можливість зміни їх порядку розроблено з використанням бібліотеки jQuery. Для відображення в браузері карт використовується бібліотека OpenLayers [12]. Причому, якщо апаратне забезпечення, де встановлена програмна система має доступ до мережі «Інтернет», то нижнім шаром проекту буде підкладка Google Maps.

### **Інтерфейс користувача програмно-технічного комплексу геоприв'язки даних «Січ-2»**

Створена програмна система розгорнута та встановлена на спеціалізованому апаратному забезпеченні – високо потужному персональному комп'ютері (ПК) з можливістю віддаленого локального доступу. Для контролю доступу до роботи з програмним забезпеченням додатково реалізований модуль реєстрації користувачів системи. Після успішної авторизації, для користувача відкривається головна сторінка системи (рис. 3).

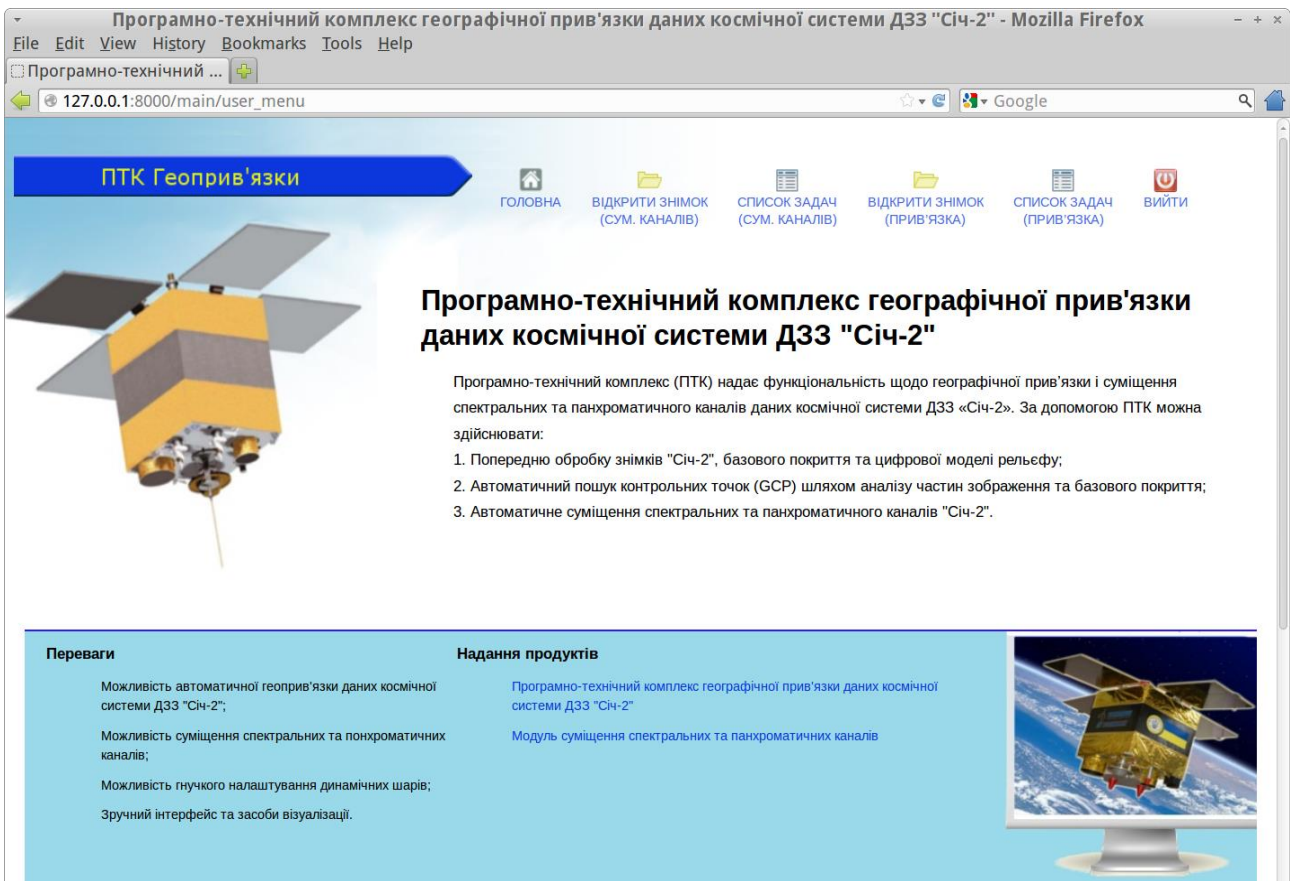


Рис. 3. Головна сторінка системи геоприв'язки даних ДЗЗ «Січ-2»

На головній сторінці розміщена вся інформація щодо можливостей та функціональності системи. Для здійснення процесу геоприв'язки користувач повинен перейти до пункту меню «Відкрити знімок (Прив'язка)», та вказати шлях до вхідних даних – папку, локальний диск, чи зовнішній носій інформації, де знаходяться дані, що потребують обробки. Система автоматично дослідить вхідну директорію на наявність файлів та каталогів: перевірка здійснюється за допомогою скриптів Python з використанням регулярних виразів. Якщо файли, що задовольняють встановленим умовам будуть знайдені, то їх список відобразиться на сторінці обробки (рис. 4).

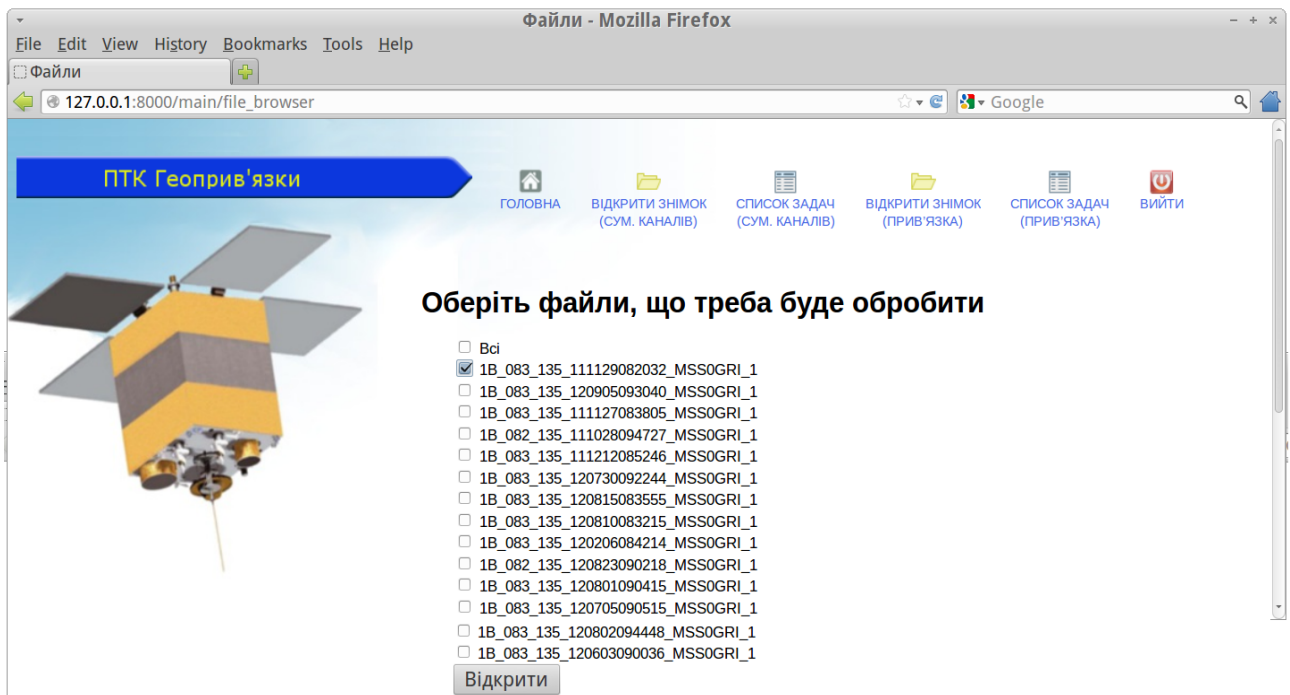
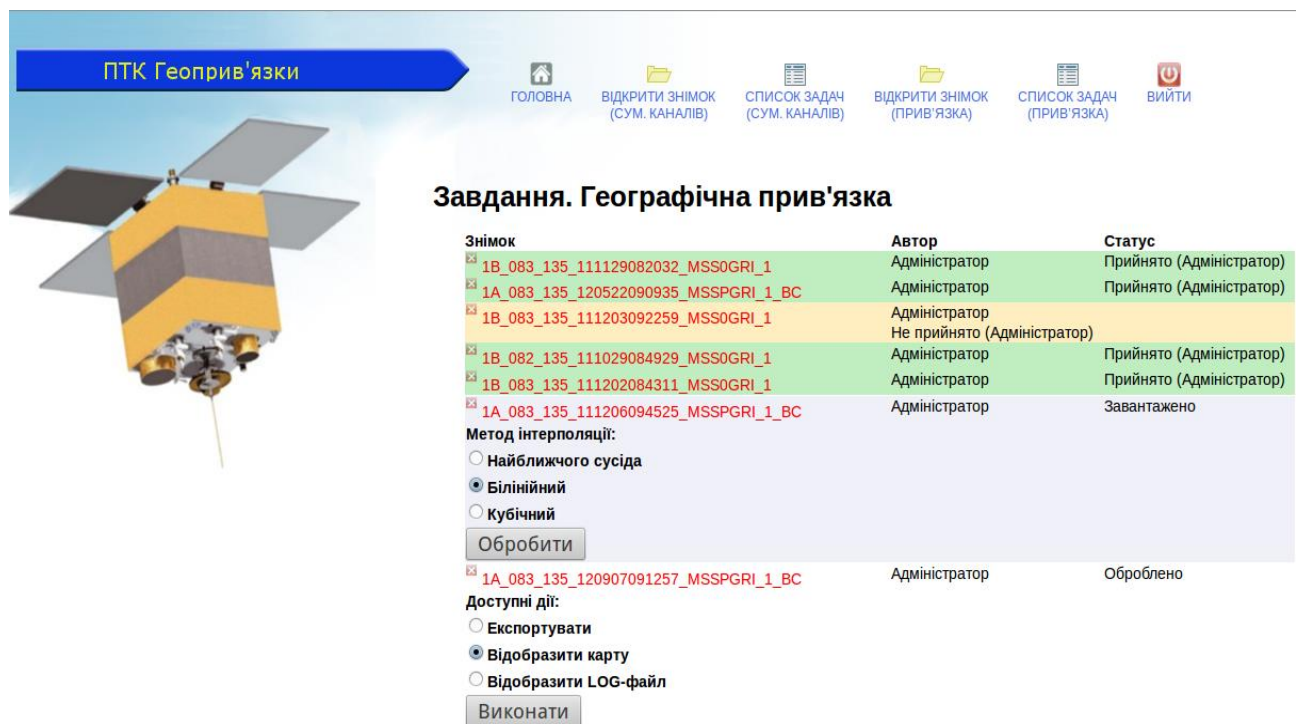


Рис. 4. Сторінка системи геоприв'язки даних ДЗЗ «Січ-2» зі вказаним переліком знайдених необроблених даних



Після натиснення кнопки «Відкрити», обрана директорія автоматично допишеться в базу даних системи. Дані, що знаходяться за цією директорією буде видно на сторінці обробки (рис. 5). Для конкретного знімку, що є в списку обраних, користувач може обрати метод інтерполяції (найближчого сусіда, білінійний, кубічний) для зміни розмірів пікселів вхідного зображення до показників базового покриття. При натисненні кнопки «Виконати» на сервер додатків буде відправлено запит з іменами всіх обраних вхідних файлів.



Знімок	Автор	Статус
1B_083_135_111129082032_MSS0GRI_1	Адміністратор	Прийнято (Адміністратор)
1A_083_135_120522090935_MSSPGRI_1_BC	Адміністратор	Прийнято (Адміністратор)
1B_083_135_111203092259_MSS0GRI_1	Адміністратор	Не прийнято (Адміністратор)
1B_082_135_111029084929_MSS0GRI_1	Адміністратор	Прийнято (Адміністратор)
1B_083_135_111202084311_MSS0GRI_1	Адміністратор	Прийнято (Адміністратор)
1A_083_135_111206094525_MSSPGRI_1_BC	Адміністратор	Завантажено

Метод інтерполяції:

Найближчого сусіда

Білінійний

Кубічний

Обробити

Доступні дії:

Експортувати

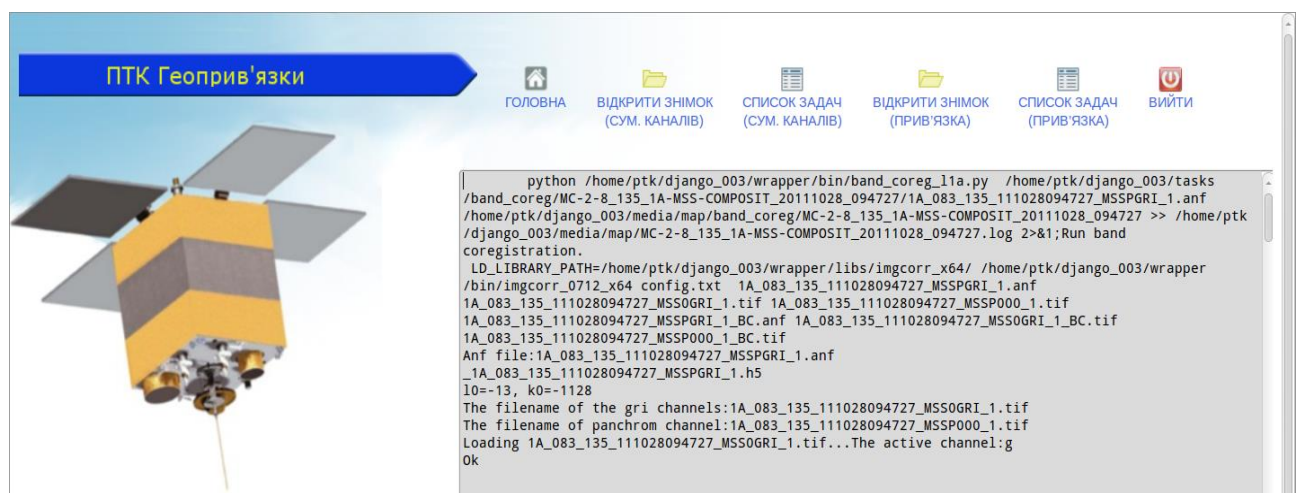
Відобразити карту

Відобразити LOG-файл

Виконати

Рис. 5. Сторінка налаштувань параметрів обробки даних «Січ-2»

Коли сервер отримує запит на обробку проекту, здійснюється перевірка на наявність прав користувача виконувати дії над даними знімками. Провіряється, чи не пошкоджена папка (присутність файлів), чи не знаходиться інформація в процесі обробки даних момент. Також система ставить відмітку, про те, що обрані файли обробляються. Далі зчитуються параметри прив'язки і заявка ставиться в чергу. У разі провалу перевірки система мітка про зайнятість файлів скидається. У випадку проходження заявки всіх перевірок, додається нова задача. Звіт про помилки, що виникають при обробці задачі виводиться в клієнті та log – файлі. Для останнього реалізована можливість інтерактивного відображення в браузері (рис. 6), щоб користувач мав можливість спостерігати процес прив'язки.



```
python /home/ptk/django_003/wrapper/bin/band_coreg_1la.py /home/ptk/django_003/tasks
/band_coreg/MC-2-8_135_1A-MSS-COMPOSIT_20111028_094727/1A_083_135_111028094727_MSSPGRI_1.anf
/home/ptk/django_003/media/map/band_coreg/MC-2-8_135_1A-MSS-COMPOSIT_20111028_094727 >> /home/ptk
/django_003/media/map/MC-2-8_135_1A-MSS-COMPOSIT_20111028_094727.log 2>&1;Run band
coregistration.
LD_LIBRARY_PATH=/home/ptk/django_003/wrapper/libs/imgcorr_x64/ /home/ptk/django_003/wrapper
/bin/imgcorr_0712_x64 config.txt 1A_083_135_111028094727_MSSPGRI_1.anf
1A_083_135_111028094727_MSS0GRI_1.tif 1A_083_135_111028094727_MSSP000_1.tif
1A_083_135_111028094727_MSSPGRI_1_BC.anf 1A_083_135_111028094727_MSS0GRI_1_BC.tif
1A_083_135_111028094727_MSSP000_1_BC.tif
Anf file:1A_083_135_111028094727_MSSPGRI_1.anf
_1A_083_135_111028094727_MSSPGRI_1.h5
l0=-13, k0=-1128
The filename of the gri channels:1A_083_135_111028094727_MSS0GRI_1.tif
The filename of panchrom channel:1A_083_135_111028094727_MSSP000_1.tif
Loading 1A_083_135_111028094727_MSS0GRI_1.tif...The active channel:g
OK
```

Рис. 6. Сторінка відображення log-файлу процесу обробки зображення

У випадку успішного завершення процесу геоприв'язки зображення, користувач має можливість переглянути результати обробки (рис. 7). Як вже було описано в попередньому розділі, у випадку доступу ПТК до мережі «Інтернет» проекти даних відображатимуться поверх підкладки Google Maps. Весь пакет оброблених даних, а саме, частина мозаїки базового покриття, набір контрольних точок та векторів їх зміщень (при перепроєктуванні), вхідне та оброблене зображення будуть представлені у вигляді геоінформаційного (ГІС) проекту, та відображені в браузері за допомогою геоінформаційної системи Mapserver. Відповідні файли проекту, тобто результати обробки будуть збережені у вказаній вихідній директорії. Окрім перерахованих продуктів обробки, система представляє мозаїки зображень, базового та початкового, базового та прив'язаного у вигляді «шахівниць» (рис. 8). Це дає можливість користувачеві системи візуально оцінити результати прив'язки зображення.

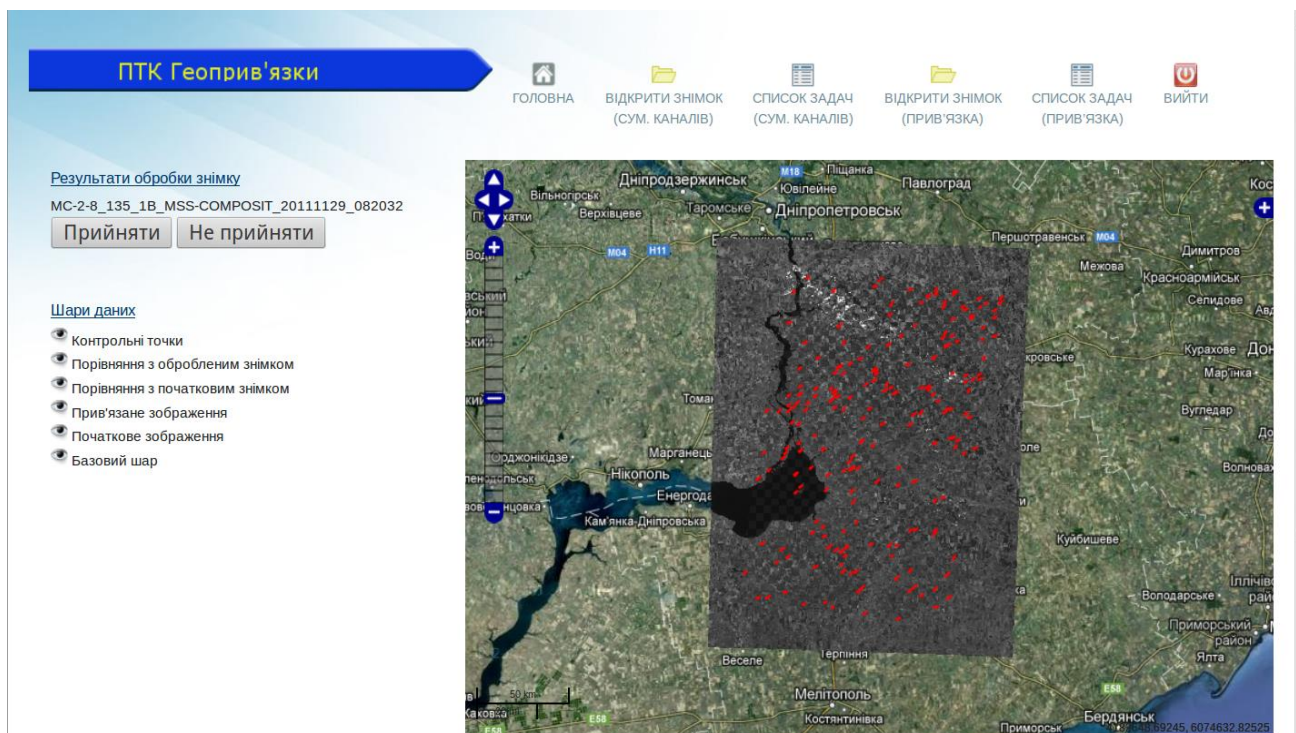


Рис. 7. Сторінка відображення log-файлу процесу обробки зображення. Рис. 6

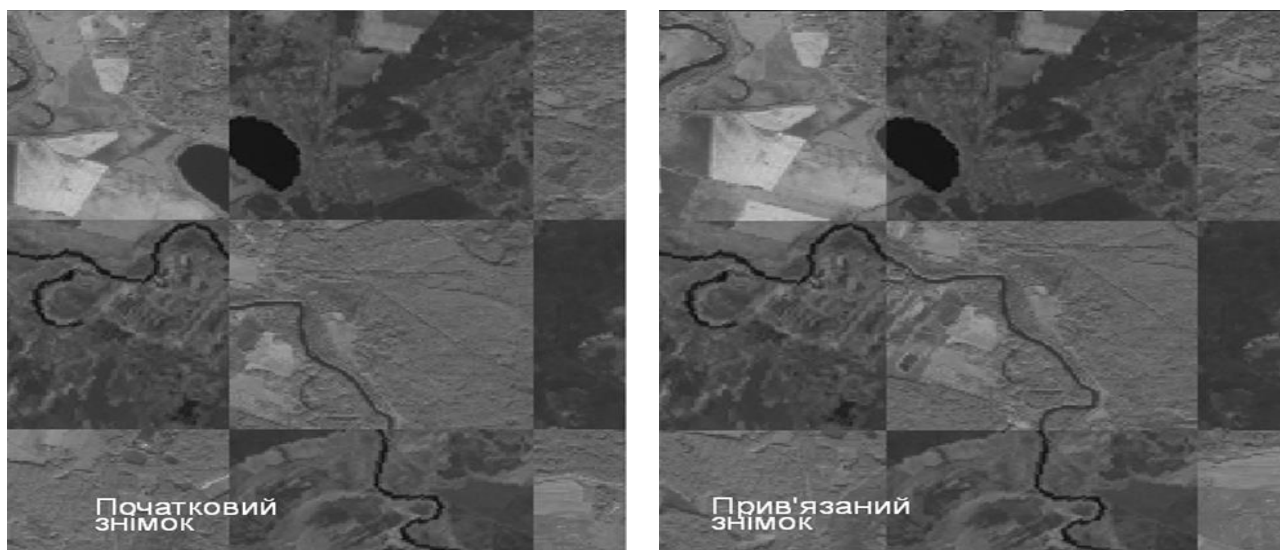


Рис. 8. Візуалізація результатів географічної прив'язки зображення «Січ-2»

### Напрямки подальшого розвитку

В результаті проведення чисельного експерименту показано, що використання ПТК автоматичної геоприв'язки дозволяє покращити точність прив'язки даних «Січ-2» в середньому в 8.15 разів. Розроблений

ПТК впроваджений в дію в Центрі прийому та обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (м. Дунаївці).

Для подолання проблем розробленого алгоритму авторами розроблено алгоритм автоматичної ідентифікації контрольних точок шляхом оцінки зміщення фрагментів супутникового знімку відносно базового зображення, що вважається еталоном. Задача оцінки зміщення зображення в роботі поставлена на сучасному рівні як задача оцінки фазового зсуву двовимірної функції інтенсивності та розв'язується шляхом максимізації фазової кореляції на основі ефективних методів швидкого перетворення Фур'є [13]. На відміну від традиційних кореляційних методів, даний підхід є менш чутливим до відмінностей, зумовлених сезонною та багаторічною динамікою підстилаючої поверхні, що дозволяє збільшити кількість контрольних точок у 10–100 разів.

Компенсація похибок координат об'єктів на знімках здійснюється шляхом моделювання оберненого перетворення координат з географічної системи координат у систему координат знімку. Для цього використовуються лінійні, поліноміальні та раціонально-поліноміальні моделі. Новизною роботи є використання поряд з традиційними моделями нежорстких моделей на основі нейронних мереж радіальних базисних функцій, що дозволяють моделювати суттєві нелінійності перетворень координат.

Отримані наукові результати забезпечили підґрунтя для включення ІКД НАНУ–ДКАУ до кооперації розробників нового вітчизняного супутника Січ-2-1, який планується до запуску в 2015 році. Загальна архітектура запланованого ПТК показана на рис. 9. Розроблений алгоритм географічної прив'язки та відповідний ПТК ввійде до складу наземного інформаційного комплексу космічної системи Січ-2-1.

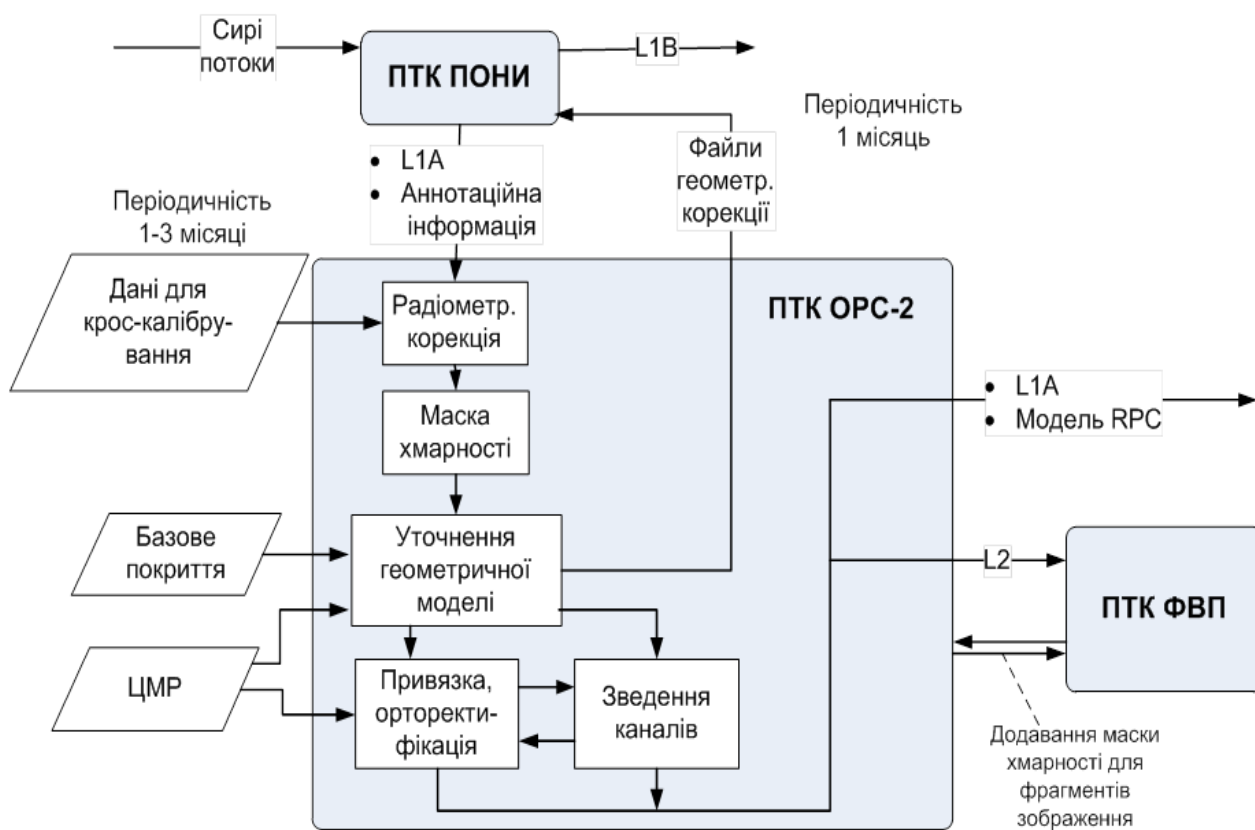


Рис. 9 Архітектура ПТК обробки даних до рівня 2 (L2)

## Висновки

Таким чином, авторами розроблено метод геоприв'язки даних апарата «Січ-2» з використанням базового покриття GeoCover на основі автоматичного пошуку контрольних точок, фазових перетворень зображення, а також його лінійної та нелінійної інтерполяції. Середньоквадратична похибка геоприв'язки даних з використанням розроблених методів складає 40 м, що у 40 разів підвищує точність прив'язки даних існуючими методами. Розроблені методи реалізовано у вигляді інформаційної технології та програмного забезпечення. Створене програмне забезпечення являє собою розподілену систему з Web-інтерфейсом, ґрунтується на використанні стандартів OGC і програмних компонентів з відкритим кодом та забезпечує високоєфективну паралельну пакетну обробку супутникових зображень, що відповідає завданням розвитку інформаційної



системи спостереження Землі з космосу [14]. ПТК ввійде до складу наземного інформаційного комплексу космічної системи Січ-2-1.

1. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O., Moloshnii B.* Crop state and area estimation in Ukraine based on remote and in-situ observations // *Int. J. on Information Models and Analyses.* – 2012. – Vol. 1, N 3, P. 251–259.
2. *Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kravchenko O., Kussul O.* Crop clasification in Ukraine using satellite optical and SAR images // *Models&Analyses.* – 2013. – N 2. – P. 118–128.
3. *Kussul N., Skakun S., Kravchenko O., Shelestov A., Gallego J.F., Kussul O.* Application of satellite optical and SAR images for crop mapping and area estimation in Ukraine // *International Journal "Information Tecnologies & Knowledge".* – 2013. – Vol. 7, N 3. – P. 203–210.
4. *Kussul O., Kussul N., Skakun S., Kravchenko O., Shelestov A., Kolotii A.* Assessment of relative efficiency of using MODIS data to winter wheat yield forecasting in Ukraine // *2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2013), 21-26 July, 2013, Melbourne, Australia.*
5. *Kogan F., Kussul N., Adamenko T., Skakun S., Kravchenko O., Kryvobok O., Shelestov A., Kolotii A., Kussul O. & Lavrenyuk A.* Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* – 2013. – Vol. 23. – P. 192–203.
6. «GeoEye Satellites: State-of-the-Art Means Accurate Imagery». <http://www.geoeye.com/CorpSite/products/earth-imagery/geoeye-satellites.aspx>;
7. Федоров О.П., Куссуль Н.М., Кравченко О.М. и др. Інформаційна технологія географічної прив'язки даних космічної системи ДЗЗ «Січ-2» для території України // *Космічна наука і технологія.* – 2013. – № 1, Том 13. – С. 3–12.
8. Специфікація сервісу Web Map Service. – <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.
9. Специфікація сервісу Web Coverage Service. – <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>.
10. Специфікація сервісу Web Feature Service. – <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>.
11. *MDA Federal (2004), Landsat GeoCover ETM+ 2000 Edition Mosaics Tile N-03-05.ETM-EarthSat-MrSID, 1.0, USGS, Sioux Falls, South Dakota, 2000.*
12. *OpenLayers: Free Maps for the Web.* <http://www.openlayers.org/>.
13. *Кравченко О.М., Лавренюк М.С., Куссуль Н.М.* Алгоритм географічної прив'язки знімків супутника «Січ-2» // *Наукові праці ДонНТУ Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»* – 2013 –№ 2 (18). – С. 71–79.
14. *Федоров О.П., Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю.* Задачи и перспективы развития в Украине информационной системы наблюдения Земли из космоса // *Проблемы управления и информатики.* – 2005. – № 6. – С. 116–120.