

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНСТВО УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ВАСИЛЬЄВ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 528.8

**РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ХМАРНОЇ ОБРОБКИ
БАГАТОВИМІРНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ**

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гнатушенко Володимир Володимирович,
професор кафедри інформаційних систем та технологій
Національного технічного університету «Дніпровська
політехніка», м Дніпро

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, с.н.с.
Зєлик Ярема Ігорович,
головний науковий співробітник відділу дистанційних
методів та перспективних приладів Інституту космічних
досліджень НАН України та ДКА України, м. Київ

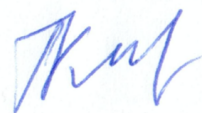
доктор технічних наук, професор
Бутенко Ольга Станіславівна,
професор кафедри інформаційних технологій та космічного
моніторингу Землі Національного аерокосмічного
університету ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Захист відбудеться «19» грудня 2019 року о 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.205.01 в ІКД НАН України та ДКА України за адресою: 03680, Україна, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ІКД НАН України та ДКА України за адресою: 03680, Україна, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1.

Автореферат розісланий «19» листопада 2019 року

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
Д 26.205.01, кандидат технічних наук



Л.М. Колос

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інформація, отримана методами дистанційного зондування з використанням аерокосмічних знімальних систем, є базою для створення цифрових моделей місцевості, моніторингу довкілля і природних ресурсів Землі. Невід'ємною частиною космічних досліджень є подальша складна фотограмметрична обробка отриманих зображень. Значні успіхи в галузі космічних програм, запуск нових супутників дали велику кількість матеріалу, який постійно поповнюється. Окремому користувачеві або науковим колективам, що виконують як попередню, так і повну обробку знімків, необхідні комплексні інструменти, що дозволяють здійснювати ефективну розподілену роботу з подібними масивами даних. Актуальність дисертаційного дослідження визначається необхідністю розробки ефективних методик інтеграції різних видів і форматів зображень, їх метаданих, а також їх інтерактивного аналізу, управління та обміну.

Існує велика кількість наукових робіт, які присвячені вирішенню різноманітних прикладних завдань моніторингу Землі із застосуванням супутникових знімків високої і середньої роздільної здатності, зокрема В. Кононова, В. Лялька, М. Мірошникова, Б. Нелепо, М. Попова, С. Станкевича, О. Федоровського, В. Цимбала, В. Корчинського.

З іншого боку, розвиток мережевих технологій і вдосконалення засобів передачі даних створили основу для побудови нового покоління систем обробки інформації — Web-орієнтованих систем аналізу отриманих зображень. Проте їх практична реалізація вимагає опрацювання значних обсягів інформації. Тому для зниження обчислювальних витрат доцільно застосувати сучасні технології віртуалізації і хмарних обчислень, комбіновані моделі зображень та алгоритми їх обробки. В умовах випереджаючого розвитку ІТ і чергового спаду світової економіки технологія, яка, наприклад, дозволяє організаціям та іншим суб'єктам відмовитись від значних витрат на створення власної ІТ-інфраструктури на користь отримання всіх необхідних ІТ-ресурсів в онлайн-режимі, розглядається як перспективний та рентабельний модернізаційний вибір, оптимальна інвестиція в майбутнє. У найрозвиненіших регіонах світу вже прийняті стратегічні рішення та плани дій щодо системного та комплексного розвитку хмарних сервісів, розгорнута відповідна робота щодо їх впровадження. Очевидно, що навіть порівняно з Грід-системами, хмарні сервіси є більш лаконічним, продуктивним і дешевшим рішенням.

Наведений короткий аналіз сучасного стану хмарної обробки багатовимірних даних підтверджує актуальність розв'язання суттєвої науково-прикладної задачі розробки інформаційної системи хмарної обробки багатовимірних даних ДЗЗ з метою підвищення ефективності їх аналізу та обробки, що надасть користувачеві можливість скоротити витрати в порівнянні зі створенням та утриманням власної розвиненої ІТ-структури. Все це визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара відповідно до наукового напрямку «Методи та інформаційні технології цифрової обробки багатоканальних даних» (Держбюджетна НДР 0116U001297). Інформаційна технологія хмарної обробки багатовимірних аерокосмічних зображень впроваджена в ТОВ «ЕОС ДАТА АНАЛІТИКС УКРАЇНА» та використовувалась у міжнародному проекті програми ЄБРР «Підтримка прозорого землекористування в Україні» («Supporting Transparent Land Governance in Ukraine») (2018-2019 р).

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи* є підвищення ефективності обробки та аналізу та супутникових даних шляхом розробки нової хмарної інформаційної технології попередньої та тематичної обробки даних ДЗЗ, що надає користувачеві можливість скоротити витрати в порівнянні з утриманням власної розвиненої ІТ-структури.

Для досягнення цієї мети необхідно *вирішити такі основні задачі:*

- Проаналізувати сучасний стан розвитку методів та технологій аналізу супутникових даних.
- Вдосконалити метод і розробити автоматизовану інформаційну технологію (воркфлоу) попередньої обробки супутникових даних, забезпечивши можливість розв'язання широкого класу прикладних задач на основі уніфікованих даних рівня L2.
- Розробити метод підвищення інформативності та деталізації багатоканальних супутникових знімків на основі ICA (Independent Component Analysis) та вейвлет-перетворення.
- Розробити критерій визначення ефективності методу підвищення інформативності багатоспектральних зображень на основі вейвлет-перетворення.
- Розробити інформаційну технологію зберігання та обробки супутникових даних, оптимізовану для використання в хмарному середовищі.
- Вдосконалити методологію розв'язання прикладних задач супутникового моніторингу.

Об'єктом дослідження є багатовимірні геопросторові дані, зокрема багатоканальні супутникові дані різної природи (оптичні та радарні), що мають різне просторове розрізнення та одержані в різних діапазонах випромінювання.

Предметом дослідження є методи теоретичного аналізу та експериментального дослідження організації системи доступу користувачів до розподіленого обчислювального середовища на основі технології хмарних обчислень, методи побудови хмарної інфраструктури, методи інтеграції та консолідації програмних продуктів в розподіленому обчислювальному середовищі.

Методи дослідження – методи математичного моделювання, статистичний аналіз, геопросторовий аналіз, методи машинного навчання, методи хмарної обробки інформації.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні результати, які визначають наукову новизну і виносяться на захист, є наступними:

- Удосконалено метод попередньої обробки супутникових даних на основі злиття даних та продуктів їх обробки з різних джерел.
- Удосконалено метод підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоканальних супутникових знімках на основі ІСА та вейвлет-перетворення та злиття з панхроматичним каналом, на відміну від відомих раніше перетворень мультиспектральних каналів.
- Отримала подальший розвиток методологія визначення ефективності методів обробки супутникових багатоканальних зображень. Запропоновано критерій визначення ефективності методу підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоспектральних зображеннях на основі вейвлет-перетворення у вигляді ентропії яскравостей.
- Вперше розроблено інформаційну технологію зберігання та обробки супутникових даних, оптимізовану для використання в хмарному середовищі. Запропонована технологія забезпечує виконання задач супутникового моніторингу в реальному часі та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв'язання задач.
- Удосконалено методологію розв'язання прикладних задач супутникового моніторингу на основі методів злиття різнорідних різночасових даних. Розроблено автоматизовані інформаційні технології моніторингу антропогенного впливу видобутку бурштину, моніторингу вирубок, оцінки збитків від лісових пожеж, моніторингу посух та моніторингу агротехнічних операцій.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено інформаційну систему зберігання та обробки супутникових даних, оптимізовану для використання в хмарному середовищі. Запропонована технологія забезпечує виконання задач супутникового моніторингу в реальному часі та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв'язання задач. Розроблено методи тематичної обробки багатовимірних геопросторових даних, які дозволяють підвищити деталізацію об'єктів з подальшим розпізнаванням рослинності і водойм на території мегаполісів, проводити моніторинг і оцінку багаторічних посух та антропогенних процесів, проводити оцінку наслідків вирубок та пожеж лісових масивів, моніторинг незаконного видобутку бурштину, проводити моніторинг агротехнічних операцій на основі інтерферометричного аналізу радарних даних, будувати карти вологості ґрунтів та визначити вплив атмосфери за радіолокаційними даними, проводити моніторинг якості повітря у міських районах тощо. Зокрема ці методи використано в рамках проекту ЄБРР «Підтримка прозорого землекористування в Україні» («Supporting Transparent Land Governance in Ukraine») для здійснення моніторингу змін земного покриття на основі часових рядів оптичних та радіолокаційних зображень з метою подальшої побудови карт класифікації поверхні Землі. Розроблені методи та інформаційні технології реалізовані у вигляді геопросторового Web-сервісу LandViewer, що ґрунтується на моделі обслуговування PaaS (платформа як сервіс). Web-сервіс розгорнутий в різних геолокаціях для

забезпечення максимальної швидкості передачі даних та відмовостійкості. Впровадження отриманих результатів підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача.

Результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, одержані автором особисто. У наукових публікаціях, створених у співавторстві, здобувачу належить: аналіз існуючих ГІС-технологій, методів оцінки наслідків лісових пожеж [1], автоматизована інформаційна технологія моніторингу незаконного видобутку бурштину в Україні за даними ДЗЗ [2], автоматизована інформаційна технологія оцінки наслідків вирубок лісових масивів за даними ДЗЗ на базі хмарної платформи [3], воркфлоу моніторингу цілей сталого розвитку в хмарному середовищі [4], автоматизація обробки даних на базі хмарної платформи [5], архітектура хмарної системи обробки часових рядів супутникових даних [6], автоматизація методології моніторингу антропогенних процесів за багатоканальними супутниковими зображеннями у хмарному Web-сервісі [7], автоматизація методу розпізнавання [8], Web-архітектура сервіс-орієнтованої системи хмарної обробки багатовимірних геопросторових даних [9], автоматизація воркфлоу ідентифікації та оцінки зон ураження територій лісових масивів за різночасовими багатоканальними супутниковими зображеннями [10], автоматизована інформаційна технологія моніторингу вирубок лісових масивів [11], метод підвищення деталізації об'єктів на багатоспектральних знімках за допомогою ІСА та оптимізованого вейвлет-перетворення [12], метод побудови карт вологості на основі часових рядів радіолокаційних даних та запропоновано його реалізацію у хмарному середовищі [13], автоматизований пошук критеріїв впливу атмосфери при побудові карт вологості за радіолокаційними даними [14], метод моніторингу вологості ґрунту за даними SENTINEL-1 та його реалізацію у хмарному сервісі [15], дослідження оцінки точності розпізнавання об'єктів з використанням багатоспектральних аерофотознімків класифікованих методами нейронних мереж [16], автоматизована інформаційна технологія (воркфлоу) попередньої обробки супутникових даних до рівня L2 [17], хмарна технологія моніторингу якості повітря на основі наземних та супутникових даних [18], автоматизація обробки даних на базі хмарної платформи [19], автоматизована інформаційна технологія виявлення змін на різночасових зображеннях у інформаційну систему хмарної обробки [20], архітектура сервіс-орієнтованої системи хмарної обробки та ГІС аналізу [21], хмарна технологія оперативного доступу до архівних супутникових даних [22], геоінформаційний хмарний Web-сервіс [23], метод виявлення антропогенних процесів за різночасовими супутниковими зображеннями у системі хмарної обробки [24], Web-сервіс обробки зображень високого просторового розрізнення [25], автоматизація методу моніторингу агротехнічних операцій за часовими рядами супутникових даних у хмарній інформаційній системі [26], архітектура хмарної обробки різночасових супутникових зображень високого просторового розрізнення [27], автоматизація методу побудови карт когерентності з урахуванням часового ряду даних про опади і фенологічного календаря [28], автоматизовані методи обробки часових рядів супутникових даних в хмарному середовищі [29], автоматизовані методи обробки часових рядів супутникових даних в хмарному середовищі [30].

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на семінарах кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара; на 16-й українській конференції з космічних досліджень (Україна, Одеса, 22-27.08.2016 р.); на міжнародному науково-практичному форумі «НАУКА И БИЗНЕС» (Україна, м. Дніпро 1.07. 2016 р.); на конгресі World Congress on GIS and Remote Sensing (USA, New Orleans, 01-03.08.2016 р.); на п'ятій міжнародній конференції «GEO – UA 2016: аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (Україна, Київ, 10-14.10.2016 р.); на конгресі XXIII ISPRS Congress (Czech Republic, Prague, 12-19.07.2016 р.); на конференціях 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (Україна, Київ, 18-20.04.2017 р.); International Geoscience and Remote Sensing Symposium (USA, Texas, Fort Worth, 23-28.07. 2017 р.); на Proc. SPIE 10426, Active and Passive Microwave Remote Sensing for Environmental Monitoring, (Poland, Warsaw, 11-14.09.2017 р.); на четвертій міжнародній науково-практичній конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (Україна, м. Трускавець, 6-10.11.2017 р.); на конференції «20th International Conference on Agriculture and Geoinformatics» (Vienna, Austria, 14-15.06. 2018 р.); на шостій міжнародній конференції «GEO-UA 2018, аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (Україна, Київ, 18-19.09.2018 р.); 18th International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information, ICDSIAI 2018 (Kyiv; Ukraine; 4-7.06. 2018 р.); 10-й Міжнародній конференції International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2019 (Leeds, Great Britain, 5-7.06.2019 р.).

Публікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 30 наукових працях. 8 статей розкривають основний зміст дисертації: з них 3 у періодичних наукових виданнях інших держав [4–6], 5 — у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України [1–3, 7, 8]. Статті [1–6] індексуються в Scopus. Додатково результати дисертації представлені в 3 статтях [9–11], та 19 матеріалах міжнародних та Всеукраїнських наукових конференцій [12–30].

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 167 сторінок, містить 124 сторінки основної частини, включає 82 рисунки, 8 таблиць, 133 літературних джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дисертаційної роботи визначено актуальність обраної теми досліджень, об'єкт, предмет і мету наукової роботи, сформульовані завдання дослідження і методи, що використовувались для їх досягнення. Крім того, зазначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення,

перелічені конференції, на яких доповідались ці результати. Наведено публікації за темою роботи.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд сучасного стану розвитку методів та технологій аналізу супутникових даних, обґрунтовано необхідність розробки методів підвищення інформативності зображень на основі злиття різнорідних даних та ефективних робастних автоматизованих хмарних технологій обробки супутникових даних в реальному часі.

Другий розділ присвячений розробці методів попередньої обробки супутникових даних та потоку робіт (воркфлоу), що можуть бути застосовані для перетворення супутникових зображень до рівня L2. Запропонований воркфлоу включає відомі процедури попередньої обробки, методи видалення хмарності і корекції рельєфу, а також забезпечує підвищення якості вхідних зображень. Воркфлоу попередньої обробки супутникових даних наведено на рис. 1.

Перевірку ефективності методів попередньої обробки здійснено на прикладі задачі моніторингу рослинності і водойм на території міст за супутниковими знімками надвисокого просторового розрізнення видимого та ІЧ-діапазонів.

Для розв'язання цієї задачі використовувався алгоритм з наступними кроками:

- попередня обробка супутникових знімків за розробленим алгоритмом, що включає орторектифікацію і підвищення просторового розрізнення (рис. 1);
- тематична обробка супутникових знімків, що включає розрахунок спектральних індексів, бінаризацію, морфологічну фільтрацію;
- векторизація розпізнаних рослинних і водних об'єктів;
- визначення точності автоматизованого розпізнавання рослинних і водних об'єктів.

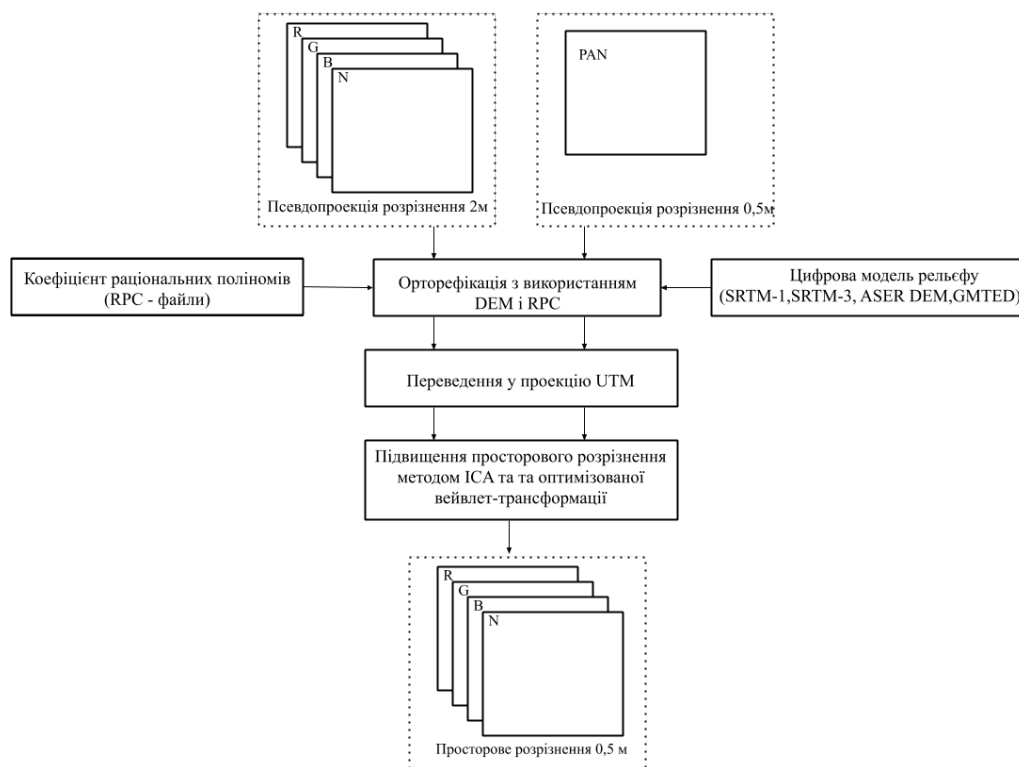


Рисунок 1 Воркфлоу попередньої обробки супутникових знімків до рівня L2

В якості основних кількісних показників точності класифікації були обрані матриця невідповідностей для двох класів (вода і рослинність) і коефіцієнт Каппа. Експеримент проводився на багатоспектральних знімках DubaiSat2. На етапі попередньої обробки були отримані RGB знімки підвищеного розрізнення, а для підвищення точності класифікації було використано також індексні зображення NDVI і NDWI.

В результаті бінаризації, морфологічної фільтрації і векторизації індексних зображень отримані векторні шари розпізнаних рослинних і водних об'єктів. При цьому точність автоматичної класифікації для різних тестових ділянок склала 86-93%, а значення коефіцієнта Каппа були в межах діапазону від 0.71 до 0.85. Аналіз результатів обробки знімків показав досить високу точність виділення меж розпізнаних об'єктів і хорошу роздільність класів рослинності і води на різних тестових ділянках при одних і тих же налаштуваннях заданих порогів бінаризації.

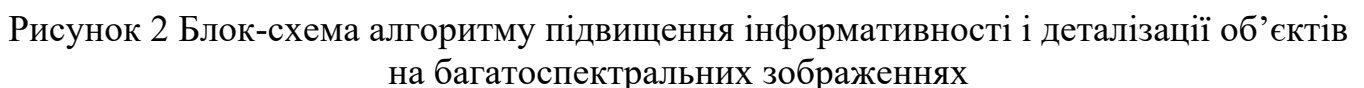
В розділі 2.2 представлено метод підвищення деталізації об'єктів на багатоспектральних знімках, який є одним із етапів воркфлоу попередньої обробки (див. рис. 1). Метод ґрунтується на основі ІСА та вейвлет-перетворення, що дозволяє суттєво збільшити вміст інформації первинних даних та не призводить до спотворення кольорів.

Запропонований метод полягає у наступному. Спочатку зображення піддаються декомпозиції першого рівня, у результаті чого для кожного із зображень отримуються матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Отримані деталізуючі коефіцієнти обох зображень утворюють лінійні комбінації з урахуванням чисельних значень коефіцієнтів лінійних форм суміщення (a , b), а саме:

$$\begin{cases} App_i^N = c_i^N, \\ Det_i = \sum_{l=1}^N \left(\{a \cdot d_p^{l,1} + b \cdot d_i^{l,1}\}, \{a \cdot d_p^{l,2} + b \cdot d_i^{l,2}\}, \{a \cdot d_p^{l,3} + b \cdot d_i^{l,3}\} \right) \end{cases} \quad (1)$$

де $App_i^{\overline{i}}$ та Det_i – апроксимуючі та деталізуючі вейвлет-складові нового БСЗ. Нижнім індексом позначено відповідний канал БСЗ $i=R, G, B$ або панхроматичного зображення (P). Далі виконується вейвлет-реконструкція першого рівня та отримується зображення, синтезоване за допомогою вейвлет-перетворення, що представляє собою багатоканальне зображення з підвищеною інформативністю при умові максимізації функції ентропії. Найбільш ефективним є використання вейвлетів Добеші не нижче 6-го порядку.

Схему алгоритму наведено на рисунку 2. Вейвлет-перетворення застосовується для обробки багатоспектральних зображень, до яких в якості одного з каналів додається панхроматичне зображення. При цьому внесок відповідних низькочастотних компонентів первинних багатоспектральних і панхроматичних зображень враховується із застосуванням лінійних форм, визначення коефіцієнтів яких сформульовано як задача оптимізації за критерієм максимізації інформаційної характеристики (ентропії) на оптимальному рівні розкладу.



З метою визначення впливу запропонованого методу на якість багатоканального зображення у роботі отримано кількісні оцінки інформативності первинного та синтезованого багатоканального зображень, а саме: інформаційна та сигнальна ентропія, SSIM, ERGAS, CC та інші. Візуальну «якість» зображення можна оцінити за критеріями максимуму характеристик інформативності, до яких відносяться інформаційна та сигнальна ентропії, що визначаються наступними співвідношеннями.

Інформаційна ентропія:

$$E(x) = \sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k, \quad (2)$$

де N – кількість рівнів яскравості, p_k – ймовірність появи значення k у знімку,

k – рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$, $\sum_{k=0}^{N-1} p_k = 1$.

Індекс ERGAS дорівнює нулю при умові, що отриманий шляхом злиття знімок співпадає з оригінальним знімком. Тому низький індекс ERGAS показує високу якість методу злиття.

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{RMSE(k)}{\mu(k)} \right)^2}, \quad (3)$$

де h – просторове розрізнення зображення з високим просторовим розрізненням; l – просторове розрізнення зображення з низьким просторовим розрізненням; K – кількість спектральних каналів, які використовуються; $\mu(k)$ – середнє значення каналу k еталонного зображення; RMSE – середньо-квадратична помилка, отримана шляхом злиття зображення та оригінального зображення для каналу k .

Результати експериментального порівняння різних методів покращення якості зображень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння методів злиття

Метод/Метрика	$E(x)$	ERGAS	SSIM
PCA	5.01	10.06	0.66
Brovey	4.96	9.12	0.46
Gram-Schmidt	6.05	3.54	0.83
ICA	5.66	4.68	0.74
Wavelet	5.89	3.31	0.96
Запропонований	6.12	2.23	0.98

На рисунку 3 представлено синтезоване зображення після застосування нової технології підвищення інформативності на основі ICA та вейвлет-перетворень.

У порівнянні з існуючими, запропонований метод дозволяє підвищити просторову розрізненість багатоканального зображення без спотворень кольору.

Результати оцінки ефективності підтвердили ефективність запропонованого методу. У той час як інформаційна ємність мультиспектральних зображень, а також контраст і кількість градацій яскравості збільшується із застосуванням запропонованого підходу, кореляція зменшується, що свідчить про збільшення інформаційної ентропії зображень.

У **третьому розділі** запропоновано хмарну інформаційну технологію обробки та моніторингу геопросторових даних у реальному часі, яка забезпечує ефективне розв'язання прикладних задач на часових рядах даних високого і надвисокого розрізнення. Технологія ґрунтується на моделі обслуговування хмарних обчислень PaaS, яка надає споживачам можливість використання хмарної інфраструктури для розміщення базового програмного забезпечення з подальшим розміщенням на ньому нових або існуючих додатків. У порівнянні з Грід-обчисленнями, модель хмарного обчислення PaaS надає розробнику прикладного програмного забезпечення та кінцевому користувачеві більш гнучку платформу для роботи з віддаленими обчислювальними ресурсами, що значно зменшує економічні витрати.

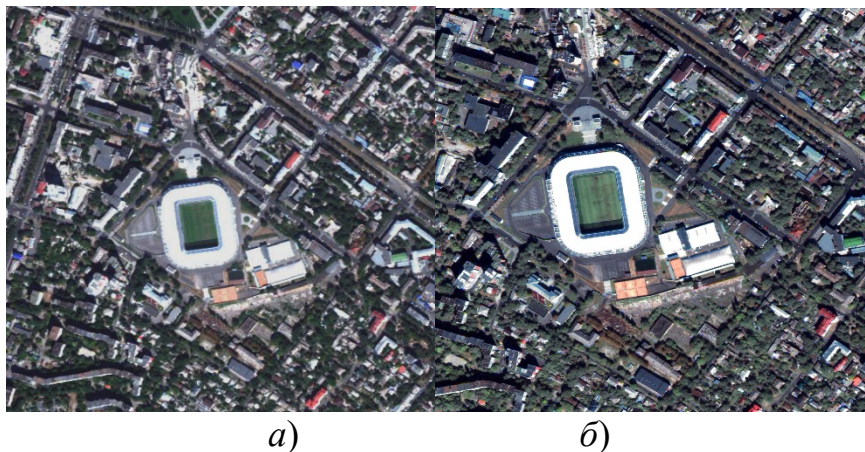


Рисунок 3 Зображення WorldView-2: а) первинне багатоканальне зображення; б) зображення після обробки методом підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоспектральних даних

В дисертації запропонована ефективна реалізація потоків обробки супутникових даних у розподіленому режимі на хмарній платформі Amazon. Для підвищення швидкості роботи хмарних сервісів запропоновано оптимізований формат зберігання даних. Він передбачає збереження кожного спектрального каналу в окремому файлі, використання стиснення файлів, яке швидко розпаковується, включення підсумкової статистики та чіткі правила іменування файлів. Для створення глобального покриття передбачається використання кількох зображень (рис. 4).

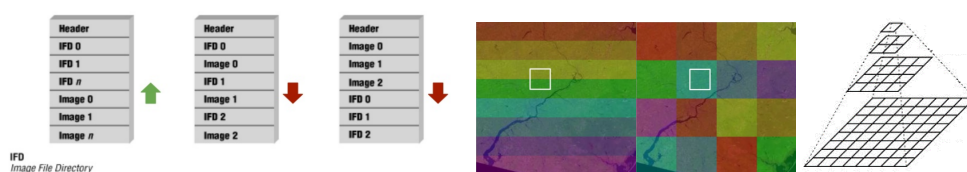


Рисунок 4 Графічне представлення основних вимог до зберігання даних

Архітектуру он-лайн сервісу обробки супутникових даних запропоновано будувати на основі сумісності з OpenStack платформами. Це забезпечує високу масштабованість обчислювальних ресурсів (тип обчислювального ресурсу, кількість обчислювальних ресурсів) тощо. Схема реалізації он-лайн сервісу обробки супутникових даних в гетерогенному хмарному середовищі (Amazon та Google) представлена на рисунку 5.

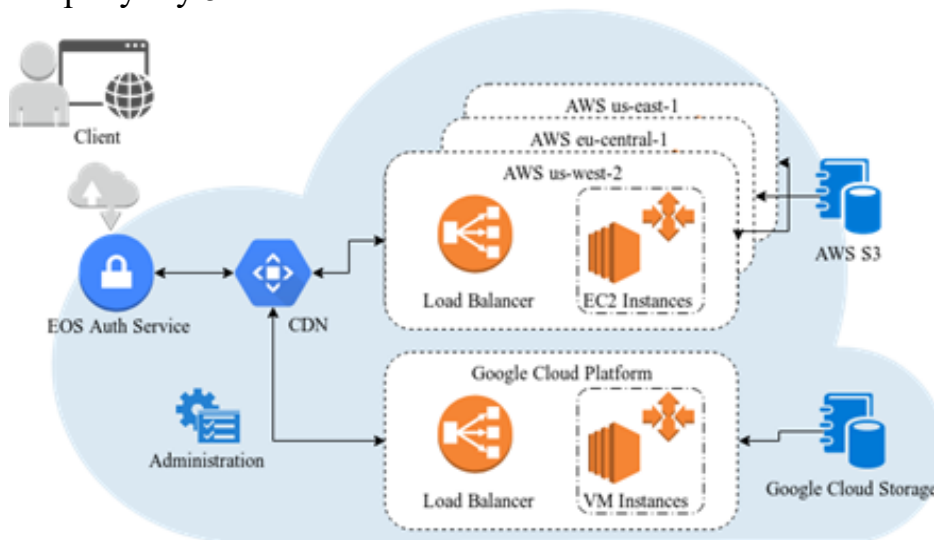


Рисунок 5 Архітектура онлайн сервісу обробки даних в реальному часі

Наукові результати дисертації реалізовано в хмарній програмній платформі Amazon у вигляді хмарного сервісу LandViewer оперативного доступу та аналізу супутникових даних (оптичних та радарних). Перевагою запропонованої технології є надання користувачеві можливості практично миттєвої побудови композитних кольорових і кольорових синтезованих зображень за даними мультиспектральної зйомки, доступ до карт найбільш поширених індексів та продуктів, а також можливість реалізації власних застосувань на основі API.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи запропоновано методи розв'язання прикладних задач на основі методів попередньої обробки із розділу 2 та технології хмарної обробки даних та сервісу LandViewer із розділу 3, а саме, метод супутникового моніторингу наслідків незаконного видобутку бурштину, моніторингу вирубок лісів, оцінки збитків від лісових пожеж, моніторингу посух та моніторингу агротехнічних операцій.

Аналіз наслідків незаконного видобутку бурштину, описаний в розділі 4.1, ґрунтується на методі аналізу головних компонент (PCA — Principal Component Analysis) за даними середнього просторового розрізнення Landsat 7/ETM і Landsat 8/OLI.

Зображення Landsat можна представити у матричному вигляді наступним чином:

$$X_{n,b} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{b,1} & \dots & x_{b,n} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де n — кількість пікселів, b кількість діапазонів. Розглядаючи кожну смугу як вектор, матрицю (4) можна представити у наступному вигляді:

$$X_k = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_b \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де k — кількість смуг. Для зменшення розмірності вихідних смуг запропоновано використовувати власні значення матриці коваріації:

$$C_{b,b} = \begin{pmatrix} \sigma_{1,1} & \dots & \sigma_{1,b} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{b,1} & \dots & \sigma_{b,b} \end{pmatrix} \quad (6)$$

де $\sigma_{i,j}$ — коваріація кожної пари різних смуг.

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (DN_{p,i} - \mu_i)(DN_{p,j} - \mu_j), \quad (7)$$

де $DN_{p,i}$ — цифрове число пікселя p у діапазоні i , $DN_{p,j}$ — цифрове число пікселя p у діапазоні j , μ_i та μ_j — це середні значення DN для діапазонів i та j відповідно.

В підрозділах 4.2–4.3 наведено метод кількісної оцінки площі вирубки лісів і воркфлоу реалізації відповідного сервісу на хмарній платформі. До складу воркфлоу входить формування маски хмарності по знімку, побудова індексних зображень NDVI, порогова бінаризація індексного зображення, морфологічна фільтрація бінарного зображення по знімку, векторизація бінарного зображення, визначення меж і площі рослинності, формування різницевого зображення, бінаризація, векторизація і визначення меж і площі вирубок, візуалізація змін на цифровій карті, запис атрибутів об'єктів (площі вирубок) в DBF-файл і експорт векторного шару в KML-файл.

На відміну від відомих методів визначення площ вигорілих територій по різночасним супутниковим знімкам з використанням диференційованого нормалізованого індексу гару (dNBR), запропонована технологія дозволяє більш точно визначати вигорілі ділянки завдяки незалежному визначенню оптимальних порогів бінаризації для кожного знімка. Крім того, запропонований воркфлоу дозволяє аналізувати часові зміни на постраждалих ділянках лісу для тривалих періодів спостереження, використовуючи створені векторні шари з атрибутивною інформацією.

Розроблений сервіс використано для обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків низького і середнього просторового розрізнення з метою оцінки наслідків лісових пожеж на території Каліфорнії. За даними супутника Landsat 8/OLI визначено межі вигорілих ділянок і розраховано площу постраждалої території.

У розділі 4.4 наведено приклад розв'язання прикладних задач моніторингу посух, визначення їх складових та видів на базі хмарного сервісу із розділу 3. Моніторинг сільськогосподарських посух ґрунтується на аналізі часових рядів метеорологічних показників та визначенні вологості ґрунту за супутниковими даними. Інтенсивність посухи визначається шляхом порівняння даних за поточний вегетаційний сезон з багаторічними даними моніторингу.

Розроблений воркфлоу моніторингу посух інтегровано до хмарного сервісу, який дозволяє будувати картограми по часових рядах TCI, VCI, VHI (рис. 6).

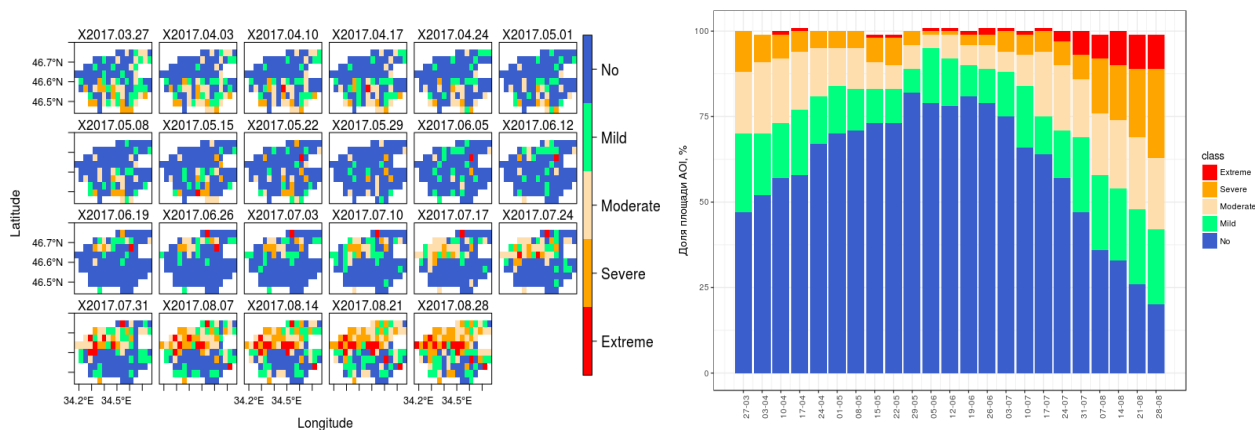


Рисунок 6 Картограми VHI та визначення долі площі за даними часового ряду з 1.04.2017 р. по 01.08.2017 р. для Іванівського району Херсонської області

В розділі 4.5 запропоновано метод моніторингу агротехнічних операцій на основі інтерферометричного аналізу радарних даних. Ідея методу фіксації моменту закінчення збиральних робіт ґрунтується на властивостях когерентності радарних знімків. Показано, що закінчення збиральних робіт на полі супроводжується стрибкоподібним збільшенням когерентності.

Використання карт когерентності, отриманих у результаті обробки SLC-знімків Sentinel-1, дозволяє здійснювати моніторинг агротехнологічних робіт та визначати дати ключових подій на полі (посів, ріст і розвиток культури, прибирання, обробка поверхневого шару ґрунту перед посівом культури і після її прибирання), визначати дати настання основних стадій розвитку рослин, виявляти відхилення тенденцій розвитку культури від запланованого ходу розвитку (пошкодження посівів внаслідок природних і техногенних надзвичайних ситуацій, повторний сів та ін.).

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні розв’язана важлива науково-прикладна задача розробки нових методів і автоматизованих інформаційних технологій попередньої і тематичної обробки різнорідних супутникових даних на базі хмарної архітектури, що ґрунтується на моделі обслуговування РааS (платформа як сервіс).

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку методів та технологій аналізу супутникових даних, обґрунтовано необхідність розробки методів підвищення інформативності зображень на основі злиття різнорідних даних та ефективних робастних автоматизованих хмарних технологій обробки супутникових даних в реальному часі.

2. Удосконалено метод і розроблено автоматизовану інформаційну технологію (воркфлоу) попередньої обробки супутникових даних на основі злиття даних та продуктів їх обробки з різних джерел. На відміну від відомих алгоритмів,

розроблений воркфлоу є робастним і забезпечує можливість розв'язання широкого класу прикладних задач на основі уніфікованих даних рівня L2, оскільки включає повний перелік можливих етапів попередньої обробки супутникових даних, включаючи видалення хмар і корекцію рельєфу, а також застосовний для всіх відомих на сьогодні супутників.

3. Удосконалено метод підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоканальних супутникових знімках на основі ІСА та вейвлет-перетворення та злиття з панхроматичним каналом, на відміну від відомих раніше перетворень мультиспектральних каналів. Запропонований метод застосовний до всіх відомих на сьогодні оптичних даних високого розрізнення і дозволяє підвищити просторове розрізнення зображення шляхом злиття різнорідних даних.

4. Отримала подальший розвиток методологія визначення ефективності методів обробки супутникових багатоканальних зображень. Запропоновано критерій визначення ефективності методу підвищення інформативності багатоспектральних зображень на основі вейвлет-перетворення у вигляді ентропії яскравостей. Показано, що з використанням розробленого методу підвищує інформативність приблизно на 20%.

5. Вперше розроблено інформаційну технологію зберігання та обробки супутникових даних, оптимізовану для використання в хмарному середовищі. Запропонована технологія забезпечує виконання задач супутникового моніторингу в реальному часі та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв'язання задач.

6. Розроблені методи та інформаційні технології реалізовані у вигляді геопросторового Web-сервісу LandViewer, що ґрунтується на моделі обслуговування PaaS (платформа як сервіс). Web-сервіс розгорнутий в різних геолокаціях для максимальної швидкості передачі даних та відмовостійкості.

7. Удосконалено методологію розв'язання прикладних задач супутникового моніторингу на основі методів злиття різнорідних різночасових даних на базі хмарної платформи. Розроблено автоматизовані інформаційні технології моніторингу антропогенного впливу видобутку бурштину, моніторингу вирубок, оцінки збитків від лісових пожеж, моніторингу посух та виконання агротехнічних операцій.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Hnatushenko V.V., Hnatushenko Vik.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V. Satellite technology of the forest fires effects. *Scientific bulletin of National Mining University. — State Higher Educational Institution «National Mining University»*. Dnipropetrovsk, 2016.

No.1 (151). P. 70–76. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: аналіз існуючих ГІС-технологій, методів оцінки наслідків лісових пожеж]

2. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., **Vasyliiev V.V.**, Kavats O.O. Satellite Monitoring of Consequences of Illegal Extraction of Amber in Ukraine. *Scientific bulletin of National Mining University. - State Higher Educational Institution «National Mining University»*. Dnipro, 2017. No.2 (158). P. 99–105. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: автоматизована інформаційна технологія моніторингу незаконного видобутку бурштину в Україні за даними ДЗЗ]

3. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., **Vasyliiev V.V.** Satellite Deforestation Monitoring as a Result of Mining. *Scientific bulletin of National Mining University. – State Higher Educational Institution «National Mining University»*. Dnipro, 2017. No. 5 (161). P. 94–99. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: автоматизована інформаційна технологія оцінки наслідків вирубок лісових масивів за даними ДЗЗ на базі хмарної платформи]

4. Kussul N., Lavreniuk M., Sumilo L., Kolotii A., Rakoid O., Yailymov B., Shelestov A., **Vasiliiev V.** Assessment of Sustainable Development Goals Achieving with Use of NEXUS Approach in the Framework of GEOEssential ERA-PLANET Project. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019, 836. — P. 146-155. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: воркфлоу моніторингу цілей сталого розвитку в хмарному середовищі]

5. Shelestov A., Sumilo L., Lavreniuk M., **Vasiliiev V.**, Bulanaya T., Gomilko I., Kolotii A., Medyanovskiy K., Skakun S. Indoor and Outdoor Air Quality Monitoring on the Base of Intelligent Sensors for Smart City. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019, 836. — P. 134–145. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: автоматизація обробки даних на базі хмарної платформи]

6. Shelestov A., Lavreniuk M., **Vasiliiev V.**, Sumilo L., Kolotii A., Yailymov B., Yailymova H. Cloud Approach to Automated Crop Classification Using Sentinel-1 Imagery. *IEEE Transactions on Big Data*. 2019, doi:10.1109/tbdata.2019.2940237. [Індексується у Scopus. Журнал віднесено до першого квартиля (Q1). Особистий внесок: архітектура хмарної системи обробки часових рядів супутникових даних]

7. Мозговой Д.К., **Васильев В.В.** Мониторинг природных и антропогенных процессов с помощью Web-сервиса Landsat Viewer. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Ракетно-космічна техніка»*. 2016. №4, Т. 24. Вип.19. С. 95–101. [Особистий внесок: автоматизація методології моніторингу антропогенних процесів за багатоканальними супутниковими зображеннями у хмарному Web - сервісі]

8. Mozgovoy D.K., Serikov I.Ju., **Vasyliiev V.V.**, Hnatushenko V. V. Automatic vegetation classification using multispectral aerial images and neural network. *Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології»*. Дніпро. 2016. №6 (107). С. 66-72. [Особистий внесок: автоматизація методу розпізнавання і класифікації рослинності на багатоспектральних аерознімках з використанням нейронної мережі]

Роботи, що додатково відображають наукові результати дисертації:

9. **Васильєв В.В.**, Мозговой Д.К. Анализ многолетней засухи по данным Landsat 8. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Ракетно-космічна техніка»*. 2016. №4, т. 24. Вип.19. — С.79-89.

[Особистий внесок: Web-архітектура сервіс-орієнтованої системи хмарної обробки багатовимірних геопросторових даних]

10. Мозговой Д.К., **Васильєв В.В.** Оценка последствий лесных пожаров по данным ДЗЗ. *Інформаційні системи, механіка та керування*. № 14 (2016). С. 42–52.

[Особистий внесок: автоматизація воркфлоу ідентифікації та оцінки зон ураження територій лісових масивів за різночасовими багатоканальними супутниковими зображеннями]

11. Мозговой Д.К., **Васильєв В.В.** Мониторинг вырубок лесов по космоснимкам. *Механіка гіроскопічних систем*. №31 (2016). — С. 75–86. *[Особистий внесок: автоматизована інформаційна технологія моніторингу вирубок лісових масивів]*

Роботи, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Hnatushenko V.V., **Vasyliiev V.V.** Remote sensing image fusion using ICA and optimized wavelet transform. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B7, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. P. 653-659. *[Індексується у Scopus. Особистий внесок: метод підвищення деталізації об'єктів на багатоспектральних знімках за допомогою ICA та оптимізованого вейвлет-перетворення]*

13. Hnatushenko V.V., Garkusha I. N., **Vasyliiev V.V.** Creating soil moisture maps based on radar satellite imagery. *Proc. SPIE 10426. Active and Passive Microwave Remote Sensing for Environmental Monitoring*. 104260J (3 October 2017); Warsaw, Poland <http://dx.doi.org/10.1117/12.2278040>. *[Індексується у Scopus. Особистий внесок: метод побудови карт вологості на основі часових рядів радіолокаційних даних та запропоновано його реалізацію у хмарному середовищі]*

14. Hnatushenko Volodymyr V., Garkusha Igor N., **Vasyliiev Volodymyr V.** Research of Influence of Atmosphere and Humidity on the Data of Radar Imaging by Sentinel-1. *2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) Proceedings*. — P. 405-408. *[Індексується у Scopus. Особистий внесок: автоматизований пошук критеріїв впливу атмосфери при побудові карт вологості за радіолокаційними даними]*

15. Hnatushenko V.V., Garkusha I.N., **Vasyliiev V.V.** Using SENTINEL-1 data for monitoring of soil moisture. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. July 23–28. 2017. Fort Worth, Texas, USA. Pp.1656-1659 <http://ieeexplore.ieee.org/document/8127291>. *[Індексується у Scopus. Особистий внесок: метод моніторингу вологості ґрунту за даними SENTINEL-1 та його реалізацію у хмарному сервісі]*

16. Mozgovyi D.K., **Vasyliiev V.V.**, Hnatushenko V.V. Accuracy Evaluation of Automated Object Recognition Using Multispectral Aerial Images and Neural Network. *Proc. SPIE 10806, Tenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP*

2018), 108060H (9 August 2018); doi:10.1117/12.2502905. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: дослідження оцінки точності розпізнавання об'єктів з використанням багатоспектральних аерофотознімків класифікованих методами нейронних мереж]

17. Mozgovyi D.K., **Vasyliiev V.V.**, Hnatushenko V.V. Automated recognition of vegetation and water bodies on the territory of megacities in satellite images of visible and IR bands. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-3, 167-172, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-167-2018>. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: метод і автоматизована інформаційна технологія (воркфлоу) попередньої обробки супутникових даних до рівня L2]

18. Shelestov A., Kolotii A., Lavreniuk M., Medyanovskyi K., **Vasilev V.**, Bulanaya T., Gomilko I. Air Quality Monitoring in Urban Areas Using in-Situ and Satellite Data Within Era-Planet Project. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Spain, Valencia. 2018. P. 1668–1671. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: хмарна технологія моніторингу якості повітря на основі наземних та супутникових даних]

19. Kussul N., Shelestov A., Lavreniuk M., Kolotii A., **Vasilev V.** Land Cover and Land Use Monitoring Based on Satellite Data within World Bank Project. *Conference Proceedings of 2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies*, DESSERT 2019. No. 8770040. P. 127–130. [Індексується у Scopus. Особистий внесок: автоматизація обробки даних на базі хмарної платформи]

20. Hnatushenko V.V., Polyakov M.V., **Vasyliiev V.V.** Urban change detection method of multi-temporal remote sensing images. *World Congress on GIS and Remote Sensing*. August 01-03, 2016. New Orleans, USA. *J Remote Sensing & GIS* 2016. 5:3(Suppl) <http://dx.doi.org/10.4172/2469-4134.C1.003>. [Особистий внесок: автоматизована інформаційна технологія виявлення змін на різночасових зображеннях у інформаційну систему хмарної обробки]

21. Hnatushenko V.V., **Vasyliiev V.V.** Automatic cloud-based GIS analysis service. тези 16-ї Української конференції з космічних досліджень. Одеса, 22-27 серпня 2016 р. С. 174. [Особистий внесок: архітектура сервіс-орієнтованої системи хмарної обробки та ГІС аналізу]

22. **Васильев В.**, Гаркуша И., Мозговой Д., Гнатушенко В. Использование радарной съемки для мониторинга природных и техногенных ландшафтов. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки: Матеріали доповідей: (м. Київ, 2016 р.) - GEO-UA, 2016. ISBN 978-966-02-8019-9 (електронне видання). — С. 11–14. [Особистий внесок: хмарна технологія оперативного доступу до архівних супутникових даних]*

23. Мозговой Д.К., **Васильев В.В.**, Чорненко М.В. Геоинформационные Web-сервисы Eos Data Analytics. *Международный научно-практический форум «НАУКА И БИЗНЕС»*. м. Днепр. 1 июля 2016 г. С. 54–61. [Особистий внесок: функціональна геоінформаційних хмарних Web-сервісів]

24. Мозговой Д.К., **Васильев В.В.** Контроль природных и антропогенных процессов с помощью Web-сервиса LANDSAT VIEWER. *Международный научно-практический форум «НАУКА И БИЗНЕС»* м. Днепр. 1 июля 2016 г. С. 62–67.

[Особистий внесок: автоматизація методу виявлення антропогенних процесів за різночасовими супутниковими зображеннями у системі хмарної обробки]

25. Бусыгин Б.С., **Васильев В.В.**, Сергеева Е.Л. О создании геоинформационной системы по возобновляемой энергетике в Украине. Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». м. Трускавець. 6–10 листопада 2017 р. С. 375–380. *[Особистий внесок: Web-сервіс обробки зображень високого просторового розрізнення]*

26. Kavats A., Khramov D., Sergieieva K., **Vasyliiev V.**, Kavats Y. Geoinformation technology of agricultural monitoring using multi-temporal satellite imagery. ICAG 2018: 20th International Conference on Agriculture and Geoinformatics, Vienna, Austria, June 14-15, 2018. *[Особистий внесок: автоматизація методу моніторингу агротехнічних операцій за часовими рядами супутникових даних у хмарній інформаційній системі]*

27. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., Кавац Ю.В., **Васильев В.В.**, Інформаційна технологія виявлення антропогенних змін на різночасових зображеннях високого просторового. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*. Матеріали доповідей GEO-UA. м. Київ, 2018. С. 34–36. *[Особистий внесок: архітектура хмарної обробки різночасових супутникових зображень високого просторового розрізнення]*

28. Кавац О.О., Сергеева К.Л., Храмов Д.О., **Васильев В.В.** Моніторинг сільськогосподарських угідь за даними Sentinel-1. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*. Матеріали доповідей GEO-UA. м. Київ, 2018. — С. 31–33. *[Особистий внесок: автоматизація методу побудови карт когерентності з урахуванням часового ряду даних про опади і фенологічного календаря]*

29. **Vasyliiev Volodymyr**, Kussul Nataliia, Karlov Eugene, Shelestov Andrii, Lavreniuk Mykola Satellite Crop Monitoring within World Bank Project on Land Management Transparency in Ukraine. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*. Матеріали доповідей GEO-UA. м. Київ, 2018. С. 31–33. *[Особистий внесок: автоматизовані методи обробки часових рядів супутникових даних в хмарному середовищі]*

30. Shelestov A., Lavreniuk M., Kolotii A., **Vasiliiev V.** Cloud approach to automated crop classification using Sentinel-1 imagery. *Big Data from Space conference (BiDS)*. 2017. P. 122–125. *[Особистий внесок: автоматизовані методи обробки часових рядів супутникових даних в хмарному середовищі]*

АНОТАЦІЯ

Васильев В.В. Розробка інформаційних систем хмарної обробки багатовимірних геопросторових даних. — На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12 — «Дистанційні аерокосмічні дослідження» (05 – Технічні науки). – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Інститут Космічних Досліджень НАН України та ДКА України, Київ, 2019.

У дисертаційній роботі розв’язана важлива науково-прикладна задача розробки нових методів і автоматизованих інформаційних технологій попередньої і тематичної обробки різномірних супутникових даних на базі хмарної архітектури, що ґрунтується на моделі обслуговування РaaS (платформа як сервіс). Розроблено автоматизовану інформаційну технологію (воркфлоу) попередньої обробки супутникових даних на основі злиття даних та продуктів їх обробки з різних джерел. Запропоновані архітектурні і технічні рішення швидкого доступу та тематичної обробки супутникових даних, що зберігаються у хмарному середовищі. Розроблені методи та інформаційні технології реалізовані у вигляді геопросторового Web-сервісу LandViewer, що ґрунтується на моделі обслуговування РaaS (платформа як сервіс) та має 200 тис. зареєстрованих користувачів. Створені методи та інформаційні технології дозволяють підвищити деталізацію об’єктів, розпізнавати рослинність і водойми на території мегаполісів, будувати карти вологості ґрунтів, проводити моніторинг і оцінки багаторічних посух та антропогенних процесів, проводити оцінку наслідків вирубок та пожеж лісових масивів, моніторинг незаконного видобутку бурштину, здійснювати моніторинг агротехнічних операцій на основі інтерферометричного аналізу радарних даних та моніторинг якості повітря у міських районах.

Розроблений сервіс хмарної обробки багатовимірних геопросторових даних забезпечує виконання задач супутникового моніторингу в реальному часі та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв’язання задач.

Ключові слова: геопросторові дані, супутникові зображення, хмарна обробка, архітектура, Web-сервіс, моніторинг, методи обробки, часові ряди.

АННОТАЦИЯ

Васильев В.В. Разработка информационных систем облачной обработки многомерных геопространственных данных. — На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.12 — «Дистанционные аэрокосмические исследования» (05 - Технические науки). – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Институт космических исследований Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, Киев, 2019.

В диссертационной работе решена важная научно-прикладная задача разработки новых методов и автоматизированных информационных технологий предварительной и тематической обработки разнородных спутниковых данных на базе облачной архитектуры, основанной на модели обслуживания РaaS (платформа как сервис).

Усовершенствован метод и разработана автоматизированная информационная технология (воркфлоу) предварительной обработки спутниковых данных на основе слияния данных и продуктов их обработки из различных источников. В отличие от

известных алгоритмов, разработанный воркфлоу является робастным и обеспечивает возможность решения широкого класса прикладных задач на основе унифицированных данных уровня L2, поскольку включает полный перечень возможных этапов предварительной обработки спутниковых данных, включая удаление облаков и коррекцию рельефа, а также применим для всех известных на сегодня спутников.

Усовершенствован метод повышения информативности и детализации объектов на многоканальных спутниковых снимках на основе ИСА и вейвлет-преобразования и слияния с панхроматический каналом, в отличие от известных ранее преобразований мультиспектральных каналов. Предлагаемый метод применим ко всем известным на сегодня оптическим данным высокого разрешения и позволяет повысить пространственное разрешение изображения путем слияния разнородных данных.

Получила дальнейшее развитие методология определения эффективности методов обработки спутниковых многоканальных изображений. Предложен критерий определения эффективности метода повышения информативности многоспектральных изображений на основе вейвлет-преобразования в виде энтропии яркостей. Показано, что с использованием разработанного метода информативность повышается примерно на 20%.

Разработана информационная система облачной обработки временных рядов многомерных геопространственных данных высокого и сверхвысокого различия. Предложенные архитектурные и технические решения доступа, предварительной и тематической обработки спутниковых данных, хранящихся в облачной среде. Впервые разработана информационная технология хранения и обработки спутниковых данных, оптимизированную для использования в облачной среде. Предложенная технология обеспечивает выполнение задач спутникового мониторинга в реальном времени и их масштабирование на большие территории без увеличения времени решения задач.

Разработанные методы и информационные технологии реализованы в виде геопространственного Web-сервиса LandViewer, основанный на модели обслуживания PaaS (платформа как сервис). Web сервис развернут в различных геолокациях для максимальной скорости передачи данных и отказоустойчивости и положен в основу систем спутникового мониторинга и методов предварительной и тематической обработки многомерных геопространственных данных.

Предложенные решения предварительной и тематической обработки позволяют повысить детализацию объектов с последующим распознаванием растительности и водоемов на территории мегаполисов, строить карты влажности почв, проводить мониторинг и оценку ущерба от многолетних засух и антропогенных процессов, проводить оценку последствий вырубок и пожаров лесных массивов, мониторинг незаконной добычи янтаря, проводить мониторинг агротехнических операций на основе когерентного анализа радарных данных, и определять влияние атмосферы по радиолокационным данным, проводить мониторинг качества воздуха в городских районах.

Предложенная архитектура облачной обработки многомерных геопространственных данных обеспечивает выполнение задач спутникового

мониторинга в реальном времени и их масштабирования на большие территории без увеличения времени решения задач.

Ключевые слова: геопространственные данные, спутниковые изображения, облачная обработка, архитектура, Web-сервис, мониторинг, методы обработки, временные ряды.

ABSTRACT

Vasyliiev V.V. Information Systems Development for Cloud Processing of Multidimensional Geospatial Data. — Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.07.12 — «Remote Aerospace Research» (05 – Technical sciences). – Oles Honchar Dnipro National University, Space Research Institute of National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis deals with the important scientific and applied problem of development of new methods and automated information technologies of preliminary and thematic processing of heterogeneous satellite data on the basis of cloud architecture, based on the PaaS service model (platform as a service). Automated information technology (workflow) for satellite data pre-processing has been developed based on the data and their processing products from different sources fusion. Architectural and technical solutions for fast access and thematic processing of satellite data stored in the cloud are offered. The developed methods and information technologies are implemented in the form of geospatial Web service LandViewer, which is based on the PaaS (platform as a service) model and has 200 thousand registered users.

The created methods and information technologies allow to increase the objects detail, vegetation and water bodies in metropolitan areas identification, soil moisture maps building, provide monitoring and evaluation of: drought years and anthropogenic processes, illegal deforestation and wildfires, illegal amber production, agrotechnical operations on the basis of radar data interferometric analysis and urban area air quality.

Keywords: geospatial data, satellite imagery, cloud processing, architecture, Web service, monitoring, processing methods, time series.