

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

КАВАЦЬ ЮРІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 004. 931: 528.8

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ТА ДЕШИФРУВАННЯ
ОПТИЧНИХ І РАДАРНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національній металургійній академії України Міністерства освіти і науки України.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Рак Тарас Євгенович,
проректор з науково-педагогічної роботи Приватного
закладу вищої освіти «ІТ СТЕП Університет», м. Львів;

кандидат технічних наук
Булана Тетяна Михайлівна,
доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ
Дніпровського національного університету імені Олеся
Гончара, МОН України, м. Дніпро.

Захист відбудеться «8» жовтня 2020 року о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19, ауд. 102.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий « 5 » вересня 2020 року

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради



І. М. Удовик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Об'єкти навколишнього простору мають низку оптичних характеристик (енергетичних, просторових, спектральних, поляризаційних), чисельні значення яких притаманні тільки даним об'єктам. Тому для їх виявлення, ототожнення і дослідження використовуються прилади різних класів, засновані на різних принципах дії (візуальні, телевізійні, радіометричні, спектральні, поляризаційні, і пр.) і оптимальному поєднанні цих принципів. Внаслідок відмінності спектрів відбиття природних і порушених антропогенним впливом об'єктів, мультиспектральна зйомка є одним з найбільш ефективних методів моніторингу таких об'єктів. Актуальність і практична значимість багатоканальних і мультиспектральних систем обробки відповідних зображень з високою просторовою і спектральною розрізняювальною здатністю підтверджуються їх інтенсивним розвитком за кордоном при активному фінансуванні багатьох науково-технічних програм такими організаціями, як NASA, ESA, NASDA та ін. При цьому сучасна зарубіжна апаратура (AIS, AVIRIS, ROSIS, CASi, AISA, MODIS, Meris, WIS та ін.) авіаційного та космічного базування може реєструвати до 200 і більше мультиспектральних зображень. Очевидно, що при обробці таких великих масивів даних ще більш важливим стає питання зменшення числа «базових» (визначальних) точок кожної досліджуваної сцени для максимального прискорення процесу обробки та розпізнавання різних природних і антропогенних об'єктів. Крім того, існуючі алгоритми не враховують геометричні аспекти формування цифрових мультиспектральних зображень, одержаних сканерними системами сучасних супутників. Інтенсивне розширення і поглиблення областей застосування на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій висувають суперечливі вимоги до відповідних алгоритмів і методів за просторовими, спектральними, енергетичними і часовими параметрами. Для їх реалізації актуальними стають завдання розробки загальних підходів до створення високоефективних спеціалізованих технологій як автономного функціонування, так і тих, що допускають швидку, з мінімальними витратами, адаптацію для роботи в складі багатофункціональних комплексів обробки та спільного використання багатоканальної і мультиспектральної інформації для конкретних галузей застосування. Все це визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Наукові роботи вітчизняних та закордонних дослідників, зокрема В.М. Корчинського, Н.М. Куссуль, С.А. Станкевича, А.Ю. Шелестова, С.Pohl, Z. Wang, J. Huang та їх учнів присвячені вирішенню сучасних прикладних задач по дешифруванню земної поверхні, але в основному спрямовані на вирішення сільськогосподарських завдань. Серед складно дешифрованих територій слід визначити міські забудови, оскільки поверхні будівель мають різноманітні форми та розміри і як правило тіньові ділянки, що часто при роботі класичних методів хибно приймаються у той чи інший клас. Наведений короткий аналіз сучасних методів попередньої та тематичної обробки супутникових даних підтверджує актуальність розробки автоматизованих інформаційних технологій підвищення інформативності та дешифрування.

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

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України, що відповідає науковому напрямку «Наукові основи підвищення інформативності сканерних даних аерокосмічної багатоспектральної зйомки та подальшого оперативного моніторингу об'єктів інфраструктури» (Держбюджетна НДР 0115U003171). Інформаційна технологія дешифрування та багатовимірної обробки мультиспектральних супутникових зображень високого просторового розрізнення впроваджена в «Дніпрокосмос» філії НЦУВКЗ та ТОВ «ЕОС ДАТА АНАЛІТИКС УКРАЇНА».

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи* є підвищення ефективності методів дешифрування та оперативного моніторингу об'єктів земної поверхні шляхом створення теоретичної і алгоритмічної бази, прикладних методів в рамках нових інформаційних комп'ютерних технологій багатовимірної обробки багатоканальних супутникових зображень.

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

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку інформаційних технологій, методів дешифрування та багатовимірної обробки супутникових даних ДЗЗ.
2. Удосконалити метод попередньої обробки для підвищення просторового розрізнення первинного мультиспектрального супутникового зображення на основі інтерполяції даних з використанням вейвлет-перетворень.
3. Удосконалити інформаційну технологію підвищення інформативності геопросторових супутникових даних на основі IHS-перетворення.
4. Розглянути та автоматизувати основні етапи методу попередньої обробки радарних супутникових даних для подальшого вирішення прикладних задач.
5. Розробити автоматизовану інформаційну технологію компенсації тіньових ділянок на багатоканальних супутникових зображеннях надвисокого просторового розрізнення.
6. Розробити автоматизовану інформаційну технологію дешифрування штучних об'єктів інфраструктури на зображенні за їх геометричними та радіометричними характеристиками.
7. Провести оцінку ефективності розробленої інформаційної технології розпізнавання будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високого просторового розрізнення, на основі морфологічних індексів із застосуванням різних видів структурного елементу.
8. Удосконалити і автоматизувати інформаційні технології обробки для вирішення прикладних задач моніторингу за супутниковими даними різної фізичної природи (оптичні та радарні).

Об'єктом дослідження є процеси обробки та аналізу геопросторових даних різної фізичної природи (оптичні та радарні зображення) і різного просторового розрізнення.

Предметом дослідження є методи, інформаційні технології попередньої обробки та дешифрування, багатовимірної аналізу та суміщення даних, одержаних у різних спектральних інтервалах фіксації, та інформаційні характеристики, що визначають їх ефективність.

Методи дослідження – математичні моделі формування і обробки сканерних зображень, статистичного аналізу, геопросторового аналізу, вейвлет-аналізу.

Наукові положення:

- Метод підвищення просторового розрізнення багатоспектральних супутникових зображень на основі IHS-перетворень, що дозволило уникнути кольорових спотворень та підвищити точність подальшого дешифрування об'єктів земної поверхні.

- Послідовне виконання операцій по визначенню та компенсуванню тіньових ділянок підвищує точність дешифрування штучних об'єктів складної форми із застосуванням складових інформаційної технології на основі морфологічних індексів.

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

• ***вперше:***

- розроблена інформаційна технологія виявлення та компенсації тіней на багатоканальних супутникових зображеннях надвисокого просторового розрізнення, застосування якої дозволяє якісно компенсувати тіньові ділянки та уникнути утворенню помилкових об'єктів при подальшому дешифруванні;

• розроблена інформаційна технологія дешифрування штучних об'єктів на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів із застосуванням структурного елементу, який надає найкращий результат у порівнянні з іншими видами, ефективно визначаючи границі та контури будівель складної форми.

• ***набули подальшого розвитку:***

- метод інтерполяції багатоканальних аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворень Добеши для підвищення просторової розрізняювальної здатності первинного мультиспектрального зображення. Проведено кількісний аналіз та виявлено, що масштабоване зображення має більш високу інформативність у порівнянні з іншими методами;

- інформаційна технологія підвищення інформативності на основі IHS-перетворення, що дозволило уникнути кольорових спотворень. Кількісний аналіз показав, що синтезоване зображення за нелінійною моделлю IHS-перетворення значно перевищує відповідні значення, обчислені для первинного багатоспектрального зображення.

• ***удосконалено:***

методологію розв'язання прикладних задач супутникового моніторингу на основі визначення змін за різночасовими даними різної фізичної природи та просторового розрізнення. Розроблено автоматизовані інформаційні технології моніторингу виявлення антропогенних змін, лісових насаджень, повеней та паводків.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні інформаційних технологій дешифрування та багатовимірної обробки багатоканальних супутникових зображень високого просторового розрізнення, що є інструментарієм вирішення прикладних задач моніторингу. Розроблені інформаційні технології застосовують пакетну обробку, що

дозволяє суттєво зменшити час виконання первинних і тематичних операцій та скоротити обчислювальні ресурси.

Результати дисертаційних досліджень використано:

- «Дніпрокосмос» філії НЦУВКЗ при попередній обробці багатовимірних геопросторових даних: розроблені і реалізовані інформаційні технології інтерполяції та підвищення інформативності багатоканальних супутникових знімків на основі вейвлет- та IHS-перетворення, застосовується до широкого кола сучасних оптичних супутникових даних середнього та високого просторового розрізнення.

- ТОВ «ЕОС ДАТА АНАЛІТИКС УКРАЇНА» при вирішенні прикладних задач супутникового моніторингу та визначенні змін земної поверхні (антропогенні об'єкти та їх температурні показники за різночасовими зображеннями, моніторинг лісових насаджень, повеней та паводків): розроблені інформаційні технології реалізовані у web-платформі «EOS Processing» з хмарною архітектурою, що дозволяє виконувати операції первинної та тематичної обробки на зображеннях високого та середнього просторового розрізнення. Розроблений інструментарій застосовується до широкого кола прикладних задач моніторингу із використанням оптичних та радарних супутникових даних.

Розроблені алгоритми та інформаційні технології реалізовані у вигляді комп'ютерних програм:

- «QUALITY METRICS IMAGES – Розрахунок кількісних показників якості цифрових зображень» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 61024 від 06.08.2015);

- «IMPROVING IMAGE SPATIAL RESOLUTION» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64325 від 01.03.2016).

Про практичне застосування одержаних в дисертаційній роботі наукових результатів свідчать відповідні акти про їх впровадження.

Особистий внесок здобувача.

Результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, одержані автором особисто. У наукових публікаціях, створених у співавторстві, здобувачу належить: інформаційна технологія дешифрування тіней на супутникових зображеннях високого просторового розрізнення [1], аналіз та кількісна оцінка впливу класичних методів інтерполяції на якість багатоканальних фотограмметричних зображень [2, 12], інформаційна технологія дешифрування будівель на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів [3], аналіз ефективності застосування різних видів структурного елементу при дешифруванні складних об'єктів на багатоканальних супутникових зображеннях [4], інформаційна технологія дешифрування моніторингу змін лісових насаджень на різночасових супутникових зображеннях [5], інформаційна технологія дешифрування змін на різночасових супутникових зображеннях [6], інформаційна технологія дешифрування супутникових зображеннях пакетної обробки за часовим рядом [7], інформаційна технологія дешифрування антропогенних змін за супутниковими зображеннями в хмарному середовищі [8], інформаційна технологія виявлення і видалення тіней з використанням інфрачервоного каналу [9, 14], розробка комп'ютерної програми кількісної оцінки показників якості цифрових зображень [10], розробка

комп'ютерної програми попередньої обробки цифрових зображень [11], алгоритм дешифрування об'єктів довільного безперервного виду за аерокосмічними зображеннями [13], метод дешифрування із застосуванням хмарних обчислень [15], алгоритм підвищення інформативності супутникових зображень з подальшим моніторингом [16], алгоритм дешифрування штучних об'єктів на супутникових зображеннях високого просторового розрізнення [17], інформаційна технологія дешифрування антропогенних об'єктів за даними космічної теплової зйомки [18], метод дешифрування змін за часовими рядами супутникових радарних даних на базі платформи хмарних обчислень [19], інформаційна технологія виявлення антропогенних змін на різночасових зображеннях високого просторового розрізнення [20], інформаційна технологія дешифрування змін за часовими рядами на базі платформи хмарних обчислень [21].

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України; на першій всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Україна, м. Дніпропетровськ, 3-5.11.2015); на міжнародній науково-практичній конференції «Передовые методы обработки и анализа космической информации» (Україна, м. Дніпропетровськ, 3-4.12.2015); на всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні ІТМ-2016» (Україна, м. Миколаїв, 24-25.03.2016 р.); на міжнародному науково-практичному форумі «НАУКА И БИЗНЕС» (Україна, м. Дніпро 1.07. 2016 р.); на 16-й українській конференції з космічних досліджень (Україна, м. Одеса, 22-27.08.2016 р.); на XIV міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Україна, м. Дніпро, 16-18.11.2016 р.); на міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудування» (Україна, м. Дніпро 27-29.03.2018 р.); на конференції «20th International Conference on Agriculture and Geoinformatics» (Vienna, Austria, 14-15.06. 2018.); на шостій міжнародній конференції «GEO-UA 2018, аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (Україна, Київ, 18-19.09.2018 р.); на XIX міжнародній конференції з математичного моделювання (МКММ-2018) (Україна, м. Херсон 17-21.09.2018 р.), на «XIV International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technologies (CSIT'2019)» (Ukraine, Lviv, 17-20.09.2019).

Публікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 науковій праці, одна з яких індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus [7]. Дев'ять статей розкривають основний зміст дисертації: з них 2 у наукових виданнях інших держав [7, 9], 6 — у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України [1-6, 8]. Два свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір [10-11] та 10 матеріалів міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій [12-21].

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 161

сторінок, містить 125 сторінки основної частини, включає 46 рисунки, 13 таблиць, 117 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 дешифрування супутникових даних, обґрунтовано необхідність розробки нової алгоритмічної бази та прикладних методик дешифрування та обробки аерокосмічних зображень із можливістю оцінки інформаційної значущості відповідних перетворень.

Другий розділ присвячений розробці методів попередньої обробки цифрових супутникових зображень та оцінки їхньої ефективності. Удосконалено метод, що реалізує інтерполяцію багатоканальних аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворень, за допомогою якого можна відновити високочастотні компоненти. Схема методу інтерполяції наведена на рисунку 1.

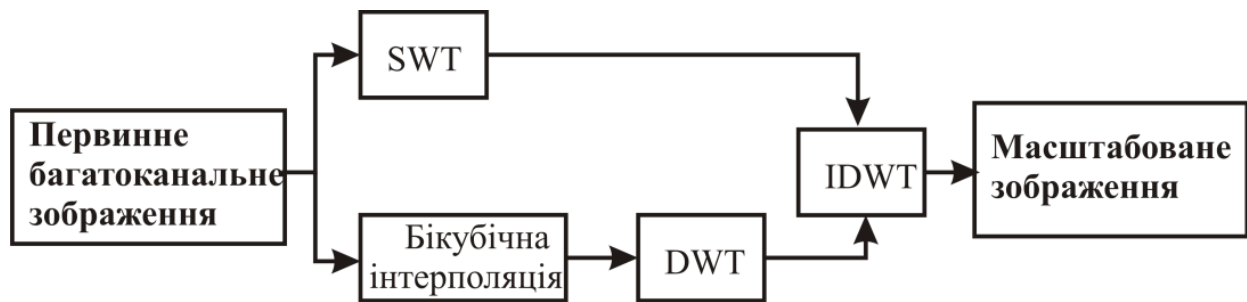


Рисунок 1 – Схема методу інтерполяції зображень на основі вейвлет-перетворення

Метод інтерполяції складається з основних кроків, які дозволяють застосувати стаціонарне вейвлет-перетворення (SWT) до первинного багатоканального зображення, розкладаючи його на апроксимуючі (LL) та деталізуючі (LH, HL, HH) компоненти. Наступним кроком є використання бікубічної інтерполяції до багатоканального зображення, після чого, застосовується дискретне вейвлет-перетворення (DWT). На завершальному етапі додаємо різницю зображень, що містить високочастотні компоненти та проводимо зворотне вейвлет-перетворення (IDWT). У методі застосовувались вейвлет-перетворення Добеши двадцять четвертого порядку. Обґрунтування вибору сімейства вейвлет-перетворення та порядку описано у розділі 2.2. Результатом роботи методу є більш чітке зображення у порівнянні з традиційними методами інтерполяції.

З метою визначення впливу кожного методу інтерполяції на якість багатоканального зображення у роботі отримано кількісні оцінки інформативності. Методи декореляції просторових розподілів яскравості засновані на обчисленні

статистичних параметрів цифрових зображень, визначення яких утруднено при великих обсягах первинних даних. Також за таких методів враховується лише внесок спектральної інформації, що міститься в первинних багатоканальних зображеннях. Візуальну «якість» зображення можна оцінити за критеріями максимуму характеристик інформативності, до яких відносяться інформаційна та сигнальна ентропія:

$$E(x) = -\sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k, \quad E_{\text{сигн.}}(x) = -\sum_{i=0}^{N-1} p_i \cdot \log_2 p_i. \quad (1)$$

де N – кількість рівнів яскравості, p_k – ймовірність появи значення k у знімку, k – рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$, $\sum_{k=0}^{N-1} p_k = 1$, $p_i = \frac{i \cdot x_i}{\sum_{J=0}^{255} J \cdot x_J}$ є

аналогом частоти, частота i -го рівня яскравості вибірки x ; i — рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$, $\sum p_i = 1$.

У таблиці 1 наведено значення інформаційної та сигнальної ентропій, отримані при масштабуванні багатоканального зображення до розміру панхроматичного за методами білінійної, бікубічної інтерполяції та найближчого сусіда (розмір зображень 512*512 пікселів).

Таблиця 1 Значення інформаційної та сигнальної ентропій

Метод інтерполяції багатоканального зображення	Значення інформаційної ентропії	Значення сигнальної ентропії
Первинне багатоканальне	7.468	7.378
Метод найближчого сусіда	7.476	7.837
Бікубічний	7.469	7.844
Білінійний	7.449	7.836
Запропонований метод	7.531	7.837

Масштабування багатоканальних аерокосмічних зображень за допомогою методу інтерполяції на основі вейвлет-перетворень у порівнянні з класичними методами інтерполяції, дає більш якісний результат. Отримане зображення за запропонованим методом має більш високу інформативність. Дослідження показали, що значення інформаційної та сигнальної ентропій перевищує відповідні значення, отримані при використанні відомих методів інтерполяції.

В розділі 2.3 удосконалено метод підвищення інформативності на основі IHS-перетворення супутникових зображень, який є одним із етапів попередньої обробки. Метод IHS дозволяє трансформацію кольорового простору багатоспектрального зображення та перехід з кольорового простору RGB (red, green, blue) до IHS (intensity, hue, saturation), після чого канал I замінюється панхроматичним (PAN) зображенням і проводиться зворотна трансформація кольорового простору. Принципова схема методу IHS складається з наступних трьох етапів:

1) перетворення значення багатоспектрального зображення (R, G, B) кожного пікселя у простір IHS (інтенсивність, тон, насиченість);

2) заміна отриманої компоненти інтенсивності I відповідним значення інтенсивності панхроматичного зображення I';

3) перетворення отриманої кольорової моделі (I', H, S) з новим значенням у простір RGB для отримання нових значень RGB (R',G',B').

Дослідження впливу модифікацій методу IHS здійснено на первинних багатоспектральних знімках, отриманих супутником надвисокого просторового розрізнення WorldView-2 (рисунок. 2 а, б). Після перетворень багатоспектрального зображення за лінійною та нелінійною IHS-моделлями були отримані зображення, які навіть візуально у порівнянні з первинним знімком відрізняються більшою чіткістю. З метою визначення впливу IHS-перетворення на якість багатоспектрального зображення, отримано кількісні оцінки інформативності первинного та синтезованих багатоспектральних зображень за двома модифікаціями IHS-перетворення, а саме: інформаційна та сигнальна ентропії, індекс структурної подібності, індекс якості, середньо-квадратична помилка та інші.

У таблиці 2 наведено значення інформаційної та сигнальної ентропій, отримані для первинних багатоспектрального та панхроматичного знімків, а також для синтезованих зображень за усіма вказаними IHS-модифікацій.

Таблиця 2 Значення інформаційної та сигнальної ентропії

Зображення	Значення інформаційної ентропії	Значення сигнальної ентропії
Панхроматичне зображення	7.1028	7.5410
Первинне багатоспектральне зображення	7.0070	7.1952
Тестове багатоспектральне зображення	7.2457	7.5259
Перетворене за лінійною IHS-моделлю	7.1445	7.5608
Перетворене за нелінійною IHS-моделлю	7.2496	7.7946



а)



б)

Рисунок 2 – Багатоканальне супутникове зображення WorldView-2:

а) первинне; б) зображення після обробки методом підвищення інформативності на основі IHS-перетворення

У розділі розглянуто основні етапи автоматизованого методу попередньої обробки радарних супутникових даних Sentinel-1 для вирішення прикладних задач моніторингу у хмарному середовищі, що дозволяє скоротити час обчислень без завантаження у локальну мережу.

У **третьому розділі** запропоновано інформаційну технологію розпізнавання тіней з подальшим виділенням та компенсацією затінених ділянок на багатоканальних зображеннях. Тіні є істотною перешкодою при розпізнаванні об'єкту, оскільки ускладнюють визначення його краю. З іншого боку, тіні часто дозволяють визначити форму, положення, поверхню та інші властивості об'єкту. При розпізнаванні об'єктів необхідним кроком є виявлення та видалення тіні, а також відновлення сцени в тіньовій області, що є досить актуальною задачею в обробці зображень.

У розділі запропоновано інформаційну технологію виявлення та компенсації тіньових ділянок, в основу якої входять наступні основні етапи: етап попередньої обробки, підвищення інформативності на основі IHS-перетворень, що дозволяє суттєво підвищити просторову розрізняльну здатність первинного багатоканального зображення; визначення вегетаційної складової; визначення оптимального порогу бінаризації; сегментація тіньової області; віднімання з маски тіней вегетаційної складової; морфологічні операції; компенсація тіней; конвертування результату. Схема розробленої інформаційної технології виділення та видалення тіньових ділянок наведена на рисунку 3.

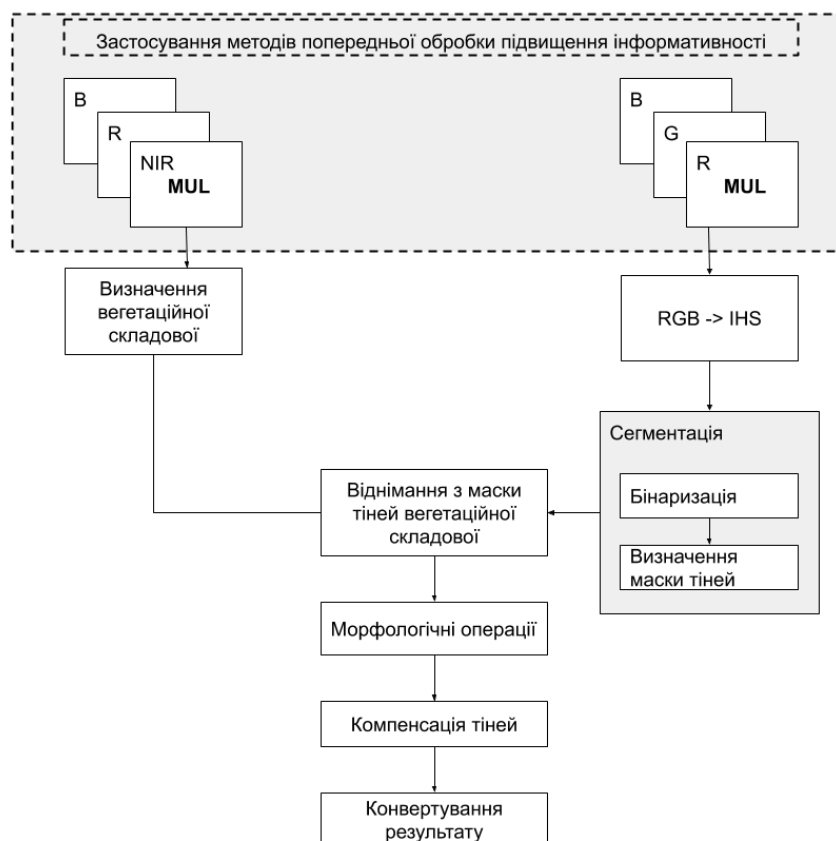


Рисунок 3 – Загальна схема інформаційної технології визначення та виділення тіньових ділянок на багатоканальних супутникових зображеннях

В розділі також розроблено інформаційну технологію дешифрування будівель, основними етапами якої є:

1. Етап визначення морфологічного індексу будівель — заснований на обчисленні диференціальних морфологічних профілів (*МВІ*) дахів будівель і споруд, для обчислення яких виконується ряд морфологічних і арифметичних операцій.

Будівлі та споруди в більшості випадків мають великі значення *МВІ* і певну геометричну форму. В основному наявність таких властивостей обумовлено локальним контрастом і ізотропністю будівель (схожість, подібність). З цього випливає, що структури з великими значеннями індексу *МВІ* з великою ймовірністю будуть будівлями.

2. Етап постобробки — включає в себе віднімання з отриманого результату маски вегетації, фільтрацію і видалення дрібних об'єктів з результуючого зображення.

Основою розробленої інформаційної технології дешифрування штучних об'єктів є побудова взаємозв'язків між спектральними характеристиками будівель (наприклад, яскравість або контраст) і фізичними характеристиками (наприклад, висота або спрямованість), які можна описати наступними параметрами:

- Яскравість каналу – є найбільш значущою.
- Локальний контраст – відносно висока відбивна здатність покрівель будівель і тіней призводить до високої локальної відмінності будівель.
- Розмір – будинки в зображеннях з високою розрізнявальною здатністю показують складні просторові моделі з різними характеристиками.
- Спрямованість. Складним завданням при визначенні морфологічного індексу є завдання автоматичної фільтрації доріг, які мають дуже схожий спектральний коефіцієнт відбиття як і будівлі. Дороги завжди витягнуті в одному або в декількох напрямках, на відміну від будівель.

Морфологічний індекс будівель (*МВІ*) розраховується за наступним виразом:

1. Пошук максимального значення каналів кожного пікселя:

$$b(i) = \max_{1 \leq k \leq K} (band_k(i)), \quad (2)$$

де k – спектральні канали; i – піксель зображення.

2. Диференціальний морфологічний профіль (*ДМР*) трансформації (*Top-Hat*) дахів. Спектральні характеристики будівель використовують *ДМР*-перетворення дахів, (*TH-DMP*) визначається наступним виразом:

$$TH - DMP(d, s) = |TH_b(d, s) - TH_b(d, s - \Delta s)|, \quad (3)$$

$$\text{де} \quad TH_b(d, s) = b - \gamma_b^{re}(d, s), \quad (4)$$

де γ_b^{re} є результатом морфологічних операцій відкриття з реконструкцією над зображенням b , $s(s_{\min} \leq s \leq s_{\max})$ і d вказує на розмір і напрямок лінійного (*SE*) структурного елементу.

3. Безпосередньо розрахунок морфологічного індексу відбувається за наступним виразом:

$$MBI = \frac{\sum_d \sum_s TH - DMP(d,s)}{D \times S}, \quad (5)$$

де D і S – значення напрямку і величина, відповідно. Найбільш поширені 4 напрямки (45° , 90° , 135° і 180°). Значення параметрів визначаються відповідно до розмірів будівель і просторового розділення MBI , заснованого на тому факті, що будівельні конструкції мають великі значення і напрямки від більшості варіантів, в основному через локальний контраст і ізотропність. Як наслідок, структури з великими значеннями MBI швидше за все будуть будівлями. Тим самим їх можна відфільтрувати від інших елементів.

Основні етапи інформаційної технології дешифрування штучних об'єктів наведено на рисунку 4.



Рисунок 4 – Основні етапи інформаційної технології дешифрування штучних об'єктів

У дисертаційній роботі проведені дослідження по визначення впливу виду структурного елементу на точність дешифрування будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високого просторового розрізнення за основними формами. Отримано значення похибок дешифрування будівель та споруд на багатоканальних супутникових зображеннях відносно еталонної маски первинного знімку (таблиця 3).

Таблиця 3 Значення похибки дешифрування будівель та споруд на багатоканальних фотограмметричних зображеннях

№	Структурний елемент	Похибка дешифрування, %
1.	CROSS	31
2.	DISK	33
3.	RING	33
4.	LINE	28

Програмна реалізація запропонованої технології дешифрування об'єктів штучного походження за цифровими багатоспектральними зображеннями дозволяє автоматично визначити об'єкти штучного походження на цифровому багатоканальному зображенні.

На рисунку 5 наведено фрагмент первинного багатоканального супутникового зображення та результати роботи інформаційної технології дешифрування будівель з використанням різних структурних елементів.

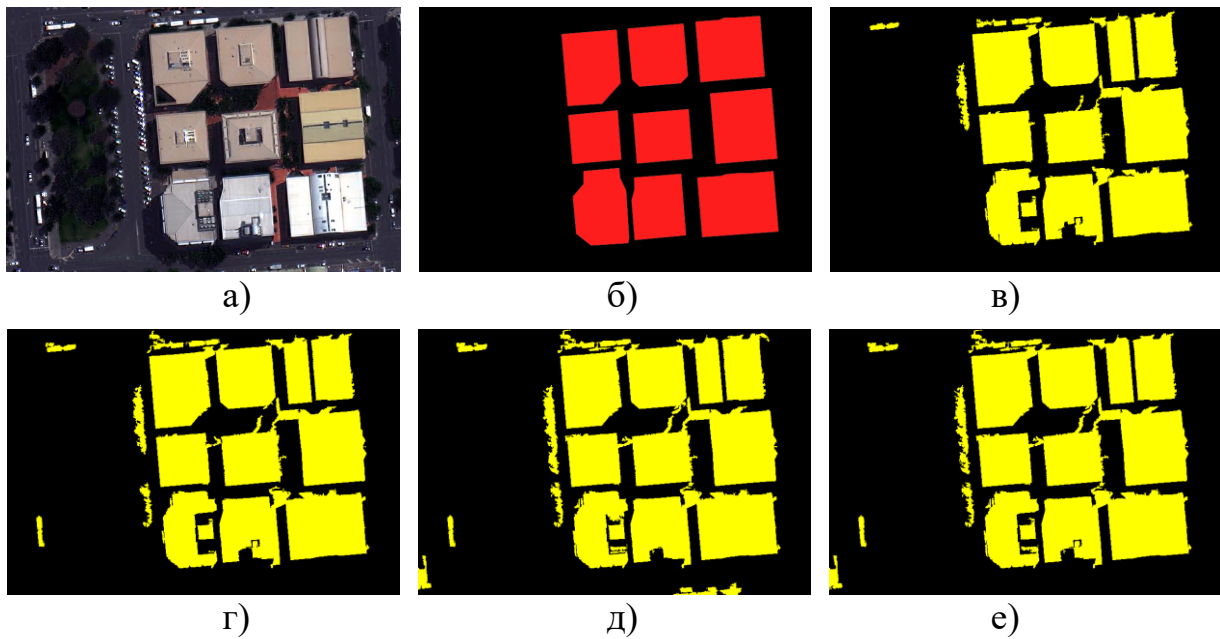


Рисунок 5 – Первинне зображення та результати роботи інформаційної технології: а) первинне зображення; б) еталонна маска; в) маска, отримана при використанні структурного елемента LINE; г) маска, отримана при використанні структурного елемента CROSS; д) маска, отримана при використанні структурного елемента DISK; е) маска, отримана при використанні структурного елемента RING.

На рисунку 6 наведено фрагмент первинного багатоканального зображення та остаточний результат роботи відповідної інформаційної технології дешифрування будівель.



Рисунок 6 – Первинне зображення та результати роботи інформаційної технології:
а) первинне зображення; б) маска, отримана при використанні структурного елемента

У розділі кількісно оцінені похибки «Completeness», «Correctness», «Quality» при дешифруванні будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях. Дешифроване зображення порівнюється з еталонним зображенням за різними параметрами для проведення оцінки та отримання метрик. «Completeness» являє собою відсоток будинків, які були правильно розпізнані по відношенню до еталонного зображення:

$$\frac{TP}{TP + FN}, \quad (6)$$

де TP – загальна площа сцени до еталонних об'єктів, FN – площа опорних об'єктів. «Correctness» описує відсоток правильно визначених будівель у всьому районі.

$$\frac{TP}{TP + FP}, \quad (7)$$

де FP – площа виділених об'єктів.

«Quality» – показник, який поєднує в собі значення «Completeness» і «Correctness»:

$$\frac{TP}{TP + FN + FP}. \quad (8)$$

Результати кількісної оцінки порівняльного аналізу методів дешифрування наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 Результати оцінки точності класифікації зображень

Метод	«Completeness»	«Correctness»	«Quality»
Спектрального кута	0.8381	0.5714	0.5146
Відстань Махаланобіса	0.6592	0.6744	0.5000
Максимальної правдоподібності	0.6392	0.6966	0.5000
Мінімальної відстані	0.5932	0.7610	0.5000
Запропонована інформаційна технологія	0.9091	0.8163	0.7142

У четвертому розділі запропоновано використання методів та інформаційних технологій, розроблених у другому та третьому розділах роботи, для вирішення прикладних задач, зокрема визначення антропогенних змін, автоматизованого моніторингу вирубок лісових насаджень, повеней та паводків, незаконного будівництва. Автоматизація методів та інформаційних технологій, які описані у другому та третьому розділах, реалізовані у хмарній платформі web-сервісу «EOS Processing», в реалізації якого автор приймав безпосередню участь.

Web-сервіс «EOS Processing» з хмарною архітектурою призначений для виконання операцій попередньої та тематичної обробки, аналізу супутникових зображень різного просторового розрізнення активних та пасивних сенсорів. Сервіс входить до загальної структури хмарної платформи «EOS» та забезпечує повний цикл обробки та аналізу супутникових даних за мінімальний час. Архітектура платформи дозволяє перехід між сервісами без скачування даних на локальні обчислювальні потужності (рисунок 7).

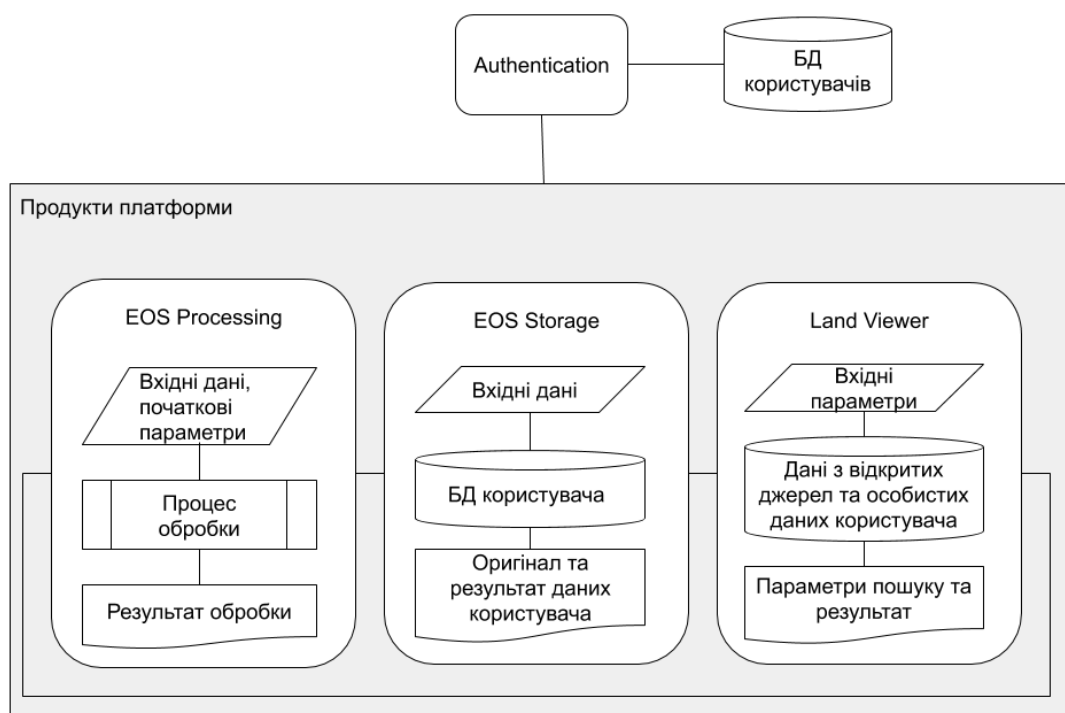


Рисунок 7 – Загальна схема взаємодії сервісів при виконанні інформаційних технологій попередньої та тематичної обробки

Однією із прикладних задач, яка автоматизована у web-сервісі «EOS Processing», є виявлення змін на різночасових зображеннях. Автором розроблено автоматизовану інформаційну технологію виявлення змін земної поверхні на різночасових супутникових зображеннях високого просторового розрізнення. Технологія складається з етапів виконання попередньої обробки знімків (підвищення інформативності, корекції), алгоритму уточнення геоприв'язки перед пошуком змін на різночасових зображеннях високого просторового розрізнення, який ґрунтується на основі дескриптора A-KAZE. За допомогою алгоритму A-KAZE спершу знаходяться та зберігаються ключові точки об'єктів на супутниковому зображенні, виконується співставлення ознак та індексація, яка передбачає збереження ключів і ідентифікацію відповідних ключів із інших зображень. Ключові точки обираються відповідно до їх ступеня стабільності. Етап порівняння та дешифрування зображень починається із завантаження характеристик ключових точок до бази даних з набору відповідних зображень. На наступному етапі проводиться порівняння характеристик з різних баз даних (різних зображень) та знаходяться спільні характеристики. Точки, отримані за допомогою алгоритму, інваріантні до масштабування і поворотів зображення, стійкі до змін освітлення, шумів і змін позиції. Послідовно виконується співставлення ознак та індексація, яка передбачає збереження ключів A-KAZE для подальшої ідентифікації та порівняння відповідних ключів із інших зображень. Завдяки зручному інтерфейсу web-сервісу «EOS Processing», виконання всіх етапів інформаційної технології виявлення антропогенних змін земної поверхні відбувається у короткий час з опрацюванням великого об'єму інформації у декілька потоків. Web-сервіс «EOS Processing» дозволяє виконувати обробку супутникових зображень у хмарному середовищі без завантаження на стаціонарний комп'ютер.

Запропоновані інформаційні технології вирішення прикладних задач моніторингу за супутниковими оптичними і радарними даними, впроваджені у web-сервіс «EOS Processing», що дозволяє виявляти зміни та температурні показники антропогенних об'єктів за різночасовими зображеннями, дешифрувати зміни лісових насаджень, повеней та паводків. У розділах 2-4 були проведені дослідження по визначенню кількісної оцінки якості фотографічних зображень. Розрахунок кількісних характеристик якості проводився за допомогою розробленої комп'ютерної програми «QUALITY METRICS IMAGES». Програмна реалізація використовувалась при розрахунку кількісних показників якості (SSIM, PSNR, ERGAS, RMSE) та показників оцінки точності дешифрування зображень (TP, FP, FN). Запропоновану інформаційну технологію підвищення інформативності супутникових зображень автоматизовано у вигляді комп'ютерної програми «IMPROVING IMAGE SPATIAL RESOLUTION».

Всі розроблені програмні продукти дозволяють виконувати повний цикл первинної та тематичної обробки супутникових зображень.

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні розв'язана важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності методів дешифрування та оперативного моніторингу об'єктів земної поверхні шляхом створення нових інформаційних технологій дешифрування та багатовимірної обробки оптичних і радарних супутникових зображень.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку методів, технологій аналізу супутникових даних та інформаційних систем різного призначення, які, як правило, є дороговартісними, трудомісткими та з використанням ручного дешифрування. За результатами проведеного аналізу обґрунтовано необхідність розробки інформаційних технологій попередньої обробки з метою підвищення інформативності для подальшого дешифрування геопросторових супутникових даних.

2. Удосконалено метод інтерполяції багатоканальних аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворень, який у порівнянні з класичними методами інтерполяції дає більш якісний результат. Дослідження показали, що масштабоване зображення має більш високу інформативність, зокрема значення інформаційної ентропії перевищує на 1,1% відповідні значення, отримані при використанні відомих методів інтерполяції.

3. Удосконалено інформаційну технологію підвищення просторової розрізняювальної здатності багатоспектральних аерокосмічних зображень на основі лінійного і нелінійного IHS-перетворення та визначено його вплив. Досліджено, що в результаті обробки багатоспектральних знімків за допомогою лінійного та нелінійного IHS-перетворень, кореляція зменшується, погрішності знижуються, синтезовані зображення мають збільшену інформативність у порівнянні з первинними знімками. Інформаційна ентропія синтезованих зображень нелінійної моделі IHS-перетворення на 3,3 % перевищує відповідне значення, обчислене для первинного багатоспектрального зображення. Візуальний та кількісний аналіз переконливо свідчить, що синтезоване зображення за лінійною IHS-моделлю на відміну від нелінійного перетворення призводить до кольорових спотворень та нереалістичного сприйняття багатоспектрального зображення.

4. Розглянуто та автоматизовано основні етапи методу попередньої обробки радарних супутникових даних Sentinel-1 для вирішення прикладних задач моніторингу, які полягають у застосуванні файлу орбіт, калібруванні, фільтрації шумів, корегуванні впливу рельєфу, тощо. Застосування етапів автоматизованого методу попередньої обробки радарних супутникових даних зменшує спотворення та помилки.

5. Розроблена інформаційна технологія виявлення та компенсації тіней на багатоканальних супутникових зображеннях надвисокого просторового розрізнення. Отримані результати свідчать про те, що запропонована технологія дозволяє якісно компенсувати тіньові ділянки на відміну від інших методів та уникнути утворенню помилкових об'єктів.

6. Розроблена інформаційна технологія дешифрування штучних об'єктів на багатоканальних супутникових зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів. Проведено порівняльний аналіз ефективності класичних методів класифікації супутникових зображень. Дослідження показали, що застосування запропонованої інформаційної технології дешифрування штучних об'єктів на основі морфологічних індексів призводить до чіткого визначення дахів будівель у порівнянні з класичними методами класифікації, точність визначення складає понад 90%.

7. Проведено порівняльний аналіз ефективності застосування різних видів структурних елементів при розпізнаванні будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів. Результати досліджень свідчать про те, що застосування структурного елементу LINE надає найкращий результат у порівнянні з іншими видами, ефективно визначаючи границі та контури будівель складної форми. Отриманні результати, при використанні структурного елементу LINE є більш точними на 10,7% від CROSS та на 17,8% від DISK та RING.

8. Розроблені інформаційні технології вирішення прикладних задач моніторингу за супутниковими оптичними і радарними даними дозволяють виявляти зміни та температурні показники антропогенних об'єктів за різночасовими зображеннями, дешифрувати зміни лісових насаджень, повеней та паводків. Запропоновані інформаційні технології засновані на виявленні змін за різночасовими даними. Це дозволяє проводити спостереження та дослідження на масштабних важкодоступних територіях за тривалий період.

9. Автоматизація запропонованих методів та інформаційних технологій для вирішення прикладних задач супутникового моніторингу реалізовані у вигляді web-платформи «EOS Processing» з хмарною архітектурою, що дозволяє виконувати операції по визначенню змін земної поверхні із застосуванням оптичних та радарних даних без завантаження даних на локальні обчислювальні потужності. Більш швидке виконання операцій обробки за допомогою web-сервісу «EOS Processing» у порівнянні з повним циклом при стаціонарній обробці відбувається завдяки автоматизації та хмарним обчисленням, які використовують розподілену обробку інформації.

10. Розроблені інформаційні технології впроваджено у додатки «Improving image spatial resolution», «Quality metrics images», що дозволяє виконувати повний цикл підвищення інформативності первинних багатоканальних супутникових зображень з подальшою кількісною оцінкою. Запропоновані програмні додатки реалізовано мовою програмування Interactive Data Language (IDL) та адаптовано під супутникові дані високого та середнього просторового розрізнення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Hnatushenko V.V., Kavats O.O., **Kavats Y.V.** Shadow detection and removal from very high resolution satellite image. *Regional interuniversity compendium of scientific works "System technologies"*. Dnipropetrovsk. 2015, Vol. 2 ('91). P. 51-60. (Індексується у *Index Copernicus*, *Google Scholar*, *DOI*, *Crossref*, *National Library of*

Ukraine (Vernadsky), Ulrichsweb Global Serials Directory ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online). Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування тіней на супутникових зображення високого просторового розрізнення)

2. Hnatushenko V.V., Kavats O.O., Galchenko E. B., **Kavats Y.V.** Interpolation method of photogrammetric images based on wavelet transformation. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон 2015. №3(54). С. 224-228. (Індексується у *Google Scholar, National Library of Ukraine (Vernadsky), РИИЦ (eLibrary)*). ISSN: 2078-4481. *Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: аналіз та кількісна оцінка впливу класичних методів інтерполяції на якість багатоканальних супутникових зображень)*

3. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., Гальченко Е.Б., **Кавац Ю.В.** Інформаційна технологія розпізнавання будівель на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високої просторової здатності на основі морфологічних індексів. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон 2016. № 3 (58). С.195-198. (Індексується у *Google Scholar, National Library of Ukraine (Vernadsky), РИИЦ (eLibrary)*). ISSN: 2078-4481. *Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування будівель на багатоканальних супутникових зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів)*

4. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** Дослідження впливу виду структурного елемента на ефективність розпізнавання об'єктів забудови на аерокосмічних зображеннях. *Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології»*. Дніпро 2017. № 3 (110). С. 112-117. (Індексується у *Index Copernicus, Google Scholar, DOI, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky), Ulrichsweb Global Serials Directory ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online)*). *Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: аналіз ефективності застосування різних видів структурного елемента при дешифруванні складних об'єктів на багатоканальних супутникових зображеннях)*

5. Кавац О.О., Гнатушенко В.В., Гнатушенко Вік.В., Кібукевич Ю.О., **Кавац Ю.В.** Комп'ютерний аналіз радарних зображень високої роздільної здатності з метою моніторингу лісових насаджень. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон 2018. № 3 (66). Т.1. С.260-264. (Індексується у *Google Scholar, National Library of Ukraine (Vernadsky), РИИЦ (eLibrary)*). ISSN: 2078-4481. *Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування моніторингу змін лісових насаджень на різночасових супутникових зображеннях)*

6. Кавац О.О., Кібукевич Ю.О., **Кавац Ю.В.**, Калашник І.В., Артеменко К.А. Комп'ютерний аналіз радарних зображень високої роздільної здатності моніторингу паводків. *Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології»*. Дніпро 2018. №5 (118). С.81-86. (Індексується у *Index Copernicus, Google Scholar, DOI, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky), Ulrichsweb Global Serials Directory ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online)*). *Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування змін на різночасових супутникових зображеннях)*

7. Hnatushenko V.V., Kavats O.O., Kibukevych J.O., **Kavats Y.V.** Flood Monitoring Using Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar Images. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC, Springer)*. Vol. 1080. P. 54-63. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0> (Індексується у Scopus. ISBN978-3-030-33694-3 (Print), ISBN978-3-030-33695-0 (Online). Журнал віднесено до третього квартіля Q3, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Report. Особистий внесок: інформаційна технологія супутникового моніторингу повеней на основі супутникових радарних даних)

8. **Кавац Ю.В.** Інформаційна технологія дешифрування антропогенних змін на супутникових зображеннях. *Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології»*. № 5 (124). Дніпро 2019. С.77-83. (Індексується у Index Copernicus, Google Scholar, DOI, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky), Ulrichsweb Global Serials Directory ISSN 1562-9945 (Print), ISSN 2707-7977 (Online). Наукове фахове видання України (категорія «Б»). Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування антропогенних змін за супутниковими зображеннями в хмарному середовищі)

9. Hnatushenko V.V., Kavats O.O., **Kavats Y.V.** Improved algorithm for detecting and removing shadows in multichannel satellite images with high information content. *Power engineering and information technologies in technical objects control. 2016 Annual Proceedings / G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev*. London: Taylor & Francis Group: CRC Press/Balkema. London, UK 2016. P. 137-141. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315197814> (Закордонне періодичне видання (Taylor & Francis). ISBN 9781315197814. Особистий внесок: інформаційна технологія виявлення і видалення тіней на супутникових зображеннях з використанням інфрачервоного каналу)

Роботи, що додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 61024 від 06.08.2015 «Комп'ютерна програма «QUALITY METRICS IMAGES»» – Розрахунок кількісних показників якості цифрових зображень». Автори: Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** (Особистий внесок: розробка комп'ютерної програми кількісної оцінки показників якості цифрових зображень)

11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64325 від 01.03.2016 Комп'ютерна програма «IMPROVING IMAGE SPATIAL RESOLUTION». Автори: Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** (Особистий внесок: розробка комп'ютерної програми попередньої обробки цифрових зображень)

12. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., Гальченко Е.Б., **Кавац Ю.В.** Алгоритм інтерполяції аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворення. Матеріали першої Всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем». м. Дніпропетровськ. 3-5 листопада 2015 р. ДВНЗ УХДТУ. Т.2. С.21-23 (ISSN (Print) 2521-6406, ISSN (Online) 2617-6092. Особистий внесок: метод інтерполяції аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворення)

13. Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** Алгоритм обнаружения объектов произвольного непрерывного вида по аэрокосмическим изображениям. Материалы Международной научно-практической конференция «Передовые методы обработки

и анализа космической информации». г. Днепропетровск. 3-4 декабря 2015. С.33-35. (Особистий внесок: алгоритм дешифрування об'єктів довільного безперервного виду за аерокосмічними зображеннями)

14. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** Інформаційна технологія виявлення та компенсації тіней на аерокосмічних зображеннях надвисокого просторового розрізнення. Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології в моделюванні ІТМ-2016». м. Миколаїв, 24-25 березня 2016 р. С. 78-79. (ISSN 2519-8319. Особистий внесок: інформаційна технологія виявлення та компенсації тіней на аерокосмічних зображеннях надвисокого просторового розрізнення)

15. Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** Хмарні обчислення при тематичній обробці багатоспектральних супутникових зображень. *Международный научно-практический форум «НАУКА И БИЗНЕС»* г. Днепр. 1 июля 2016 г., С. 26-29. (Особистий внесок: метод дешифрування із застосуванням хмарних обчислень)

16. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.**, Алтинік Б.Н. Алгоритм підвищення інформативності многоканальних супутникових зображень з послідовним моніторингом техногенних об'єктів. Тези 16-ї Української конференції з космічних досліджень. Одеса. 22-27 серпня 2016р. С. 200. (Особистий внесок: алгоритм підвищення інформативності супутникових зображень з подальшим моніторингом об'єктів)

17. Кавац О.О., Гальченко Е.Б., **Кавац Ю.В.** Алгоритм розпізнавання штучних об'єктів на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високої просторової здатності. XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем». Дніпро, 16-18 листопада 2016р. С. 80-81. (Особистий внесок: алгоритм дешифрування штучних об'єктів на супутникових зображеннях високого просторового розрізнення)

18. Кавац О.О., **Кавац Ю.В.** Визначення температури антропогенних об'єктів за даними космічної теплової зйомки. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудування». м. Дніпро 27-29 березня 2018 р. С.132. (Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування антропогенних об'єктів за даними космічної теплової зйомки)

19. 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. (Індексується у *Open Science Index, Google Scholar, Semantic Scholar, Zenedo, OpenAIRE, BASE, WorldCAT, Sherpa/RoMEO*. Особистий внесок: метод дешифрування змін за часовими рядами супутникових радарних даних на базі платформи хмарних обчислень)

20. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., **Кавац Ю.В.**, Васильєв В.В. Інформаційна технологія виявлення антропогенних змін на різночасових зображеннях високого просторового розрізнення. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*. Матеріали доповідей GEO-UA. м.Київ, 2018. С. 34-36. (Особистий внесок: інформаційна технологія виявлення антропогенних змін на різночасових зображеннях високого просторового розрізнення)

21. Гнатушенко В.В., Кавац О.О., Кібукевич Ю.О., **Кавац Ю.В.** Використання радарної зйомки Sentinel-1 для моніторингу лісів. XIX Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2018). м. Херсон 17-21 вересня 2018 р. С. 53. *(Особистий внесок: інформаційна технологія дешифрування змін за часовими рядами на базі платформи хмарних обчислень)*

АНОТАЦІЯ

Кавац Ю.В. Інформаційні технології обробки та дешифрування оптичних і радарних супутникових зображень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». (05 – Технічні науки). – Національна металургійна академія України, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2020.

У дисертаційній роботі розв’язана важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності методів дешифрування та оперативного моніторингу об’єктів земної поверхні шляхом створення нових інформаційних технологій дешифрування та багатовимірної обробки оптичних і радарних супутникових зображень. Удосконалено автоматизовану інформаційну технологію попередньої обробки супутникових даних, алгоритм інтерполяції багатоканальних аерокосмічних зображень на основі вейвлет-перетворень. Удосконалено технологію підвищення інформативності багатоспектральних аерокосмічних зображень на основі лінійного IHS-перетворення та кількісно оцінено її вплив після роботи алгоритму. Розроблені інформаційні технології тематичної обробки виявлення та компенсації тіней на багатоканальних супутникових зображеннях надвисокого просторового розрізнення. Розроблено інформаційну технологію дешифрування штучних об’єктів на багатоканальних супутникових зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів із застосуванням структурного елементу LINE, який надає найкращий результат у порівнянні з іншими видами, ефективно визначаючи границі та контури будівель складної форми. Проведено порівняльний аналіз ефективності класичних методів класифікації фотограмметричних зображень. Дослідження показали, що застосування інформаційної технології дешифрування штучних об’єктів на основі морфологічних індексів призводить до чіткого визначення дахів будівель у порівнянні з класичними методами класифікації, точність визначення складає понад 90%.

Запропоновані методи та інформаційні технології для вирішення прикладних задач супутникового моніторингу реалізовані у вигляді web-платформи «EOS Processing» з хмарною архітектурою, що дозволяє виконувати операції по визначенню змін земної поверхні із застосуванням оптичних та радарних даних без завантаження зображень на локальні обчислювальні потужності. Виконання операцій обробки за допомогою хмарної платформи «EOS Processing» відбувається у рази швидше у порівнянні з повним циклом обробки при стаціонарній обробці.

Ключові слова: космічні дані, супутникові зображення, інформаційні технології, дешифрування, розпізнання, web-сервіс, моніторинг.

АННОТАЦИЯ

Кавац Ю.В. Информационные технологии обработки и дешифрирования оптических и радарных спутниковых данных. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». (05 — Технические науки) – Национальная металлургическая академия Украины, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, 2020.

В диссертационной работе решена важная научно–прикладная задача повышения эффективности методов дешифрирования и оперативного мониторинга объектов земной поверхности путем создания новых информационных технологий дешифрирования и многомерной обработки оптических и радарных спутниковых изображений. Усовершенствована автоматизированная информационная технология предварительной обработки спутниковых данных, алгоритм интерполяции многоканальных аэрокосмических изображений на основе вейвлет-преобразований. Усовершенствована технология повышения информативности многоспектральных аэрокосмических изображений на основе линейного IHS-преобразования и количественно оценена информативность после работы алгоритма. Разработана информационная технология тематической обработки выявления и компенсации теней на многоканальных спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения. Разработана информационная технология распознавания искусственных объектов на многоканальных спутниковых изображениях пространственного разрешения на основе морфологических индексов с применением структурного элемента LINE, который предоставляет наилучший результат по сравнению с другими видами, эффективно определяя границы и контуры зданий сложной формы. Проведен сравнительный анализ эффективности классических методов классификации фотограмметрических изображений. Исследования показали, что применение информационной технологии распознавания искусственных объектов на основе морфологических индексов приводит к четкому определению крыш зданий по сравнению с классическими методами классификации, точность определения составляет выше 90%.

Предложенные методы и информационные технологии для решения прикладных задач спутникового мониторинга реализованы в виде web-платформы «EOS Processing» с облачной архитектурой, что позволяет выполнять операции по определению изменений земной поверхности с применением оптических и радарных данных без загрузки изображений на локальные вычислительные мощности. Выполнение операций обработки с помощью облачной платформы «EOS Processing» происходит в разы быстрее по сравнению с полным циклом при стационарной обработке

Ключевые слова: космические данные, спутниковые изображения, информационные технологии, дешифрирование, распознавание, web-сервис, мониторинг, разновременные данные.

ABSTRACT

Kavats Y.V. Information technology for processing and interpretation optical and radar satellite images. — Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06— «Information technology». (05 – Technical Sciences). – National Metallurgical Academy of Ukraine, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, 2020.

The important scientific and applied problem of increasing the efficiency of methods for interpretation and operational monitoring of objects on the earth's surface by developing new information technologies for interpretation and multidimensional processing of optical and radar satellite images is solved in the thesis. Information technologies of satellite data of different physical nature (optical and radar) preprocessing and thematic processing have been developed.

The interpolation algorithm of multispectral aerospace images is improved based on wavelet transforms, which in comparison with the classical interpolation algorithms allows to achieve better quality of results. The scalable image is more informative. Studies have shown that the value of information entropy is higher than corresponding values obtained using known interpolation algorithms. Information technology for enhancing the spatial resolution of multispectral aerospace images based on linear IHS-transformation is improved and its influence is determined. It has been investigated that as a result of multispectral images processing using linear and nonlinear IHS-transformations, the correlation is reduced, the errors are reduced, the synthesized images have increased informative content compared to the primary images. The information and signal entropy of images synthesized using IHS-conversion significantly exceeds the corresponding values calculated for the primary multispectral image. Visual and quantitative analysis convincingly demonstrates that, unlike nonlinear conversion, image synthesized by linear IHS-model results in color distortions and unrealistic perception of multispectral image.

The basic steps of automated method of preprocessing Sentinel-1 radar satellite data for solving applied monitoring problems are analyzed. Information technology has been developed for shadow detection and compensation on geospatial multispectral satellite images of ultra-high spatial resolution. The obtained results show that the proposed technology for shadow detection and compensation on ultra-high spatial resolution multispectral satellite images allows to qualitatively compensate shadow areas unlike other algorithms and to avoid the formation of erroneous objects.

Information technology of artificial objects interpretation on high spatial resolution multispectral photogrammetric images based on morphological indices is proposed. A comparative analysis of efficiency applying different types of structural element for buildings recognition on high spatial resolution multispectral aerospace images based on morphological indices is performed. The research results indicate that the use of the LINE structural element allows to achieve the best results compared to other types, effectively detect boundaries and contours of buildings with complex shape. A comparative analysis of the efficiency of classical methods of photogrammetric images classification is performed. Studies have shown that the use of information technology to artificial objects interpretation based on morphological indices allows to clearly find building roofs in comparison with classic classification algorithms. The accuracy is 90%.

The developed information technologies for solving practical problems of optical and radar satellite monitoring allow detecting changes and temperatures of anthropogenic objects based on different-time images, interpret changes in forest plantations and floods. The proposed information technologies are based on temporal changes, allowing observation and research in large-scale inaccessible territories over a long period.

The automation of the proposed methods and information technologies for solving satellite monitoring applications is implemented in the form of a cloud-based «EOS Processing» web platform that allows to perform operations on detecting changes in the earth's surface using optical and radar data without uploading data to local computing capacities. The speed of processing operations run with the help of web-service «EOS Processing» in comparison with the full cycle of stationary processing is high due to automation and cloud computing using distributed processing of information.

Keywords: space data, satellite images, information technology, interpretation, recognition, web-service, monitoring, time series data.

Підписано до друку 21.08.2020 р.
Замовлення № 007 від 21.08.2020 р. Формат 60x84/16
Обсяг 1,4 друкованих аркушів. Тираж 100 прим.
Обдимко О.С.

Свідоцтво про внесення до державного реєстру: Серія В02 № 166421 від 19.06.2006 р.