

УДК 004.9

Гнатушенко В.В. д.т.н, професор, Каштан В.Ю., аспірант  
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПАКЕТНИХ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ

Гнатушенко В.В., Каштан В.Ю. **Інформаційна технологія підвищення інформативності багатоканальних даних на основі пакетних вейвлет-перетворень.** У статті пропонується технологія формування нового синтезованого мультиспектрального зображення із збільшенням просторового розрізнення. Метою дослідження є створення нової інформаційної технології поліпшення візуальної якості багатоканальних зображень з використанням пакетних вейвлет-перетворень. Запропонований алгоритм був протестований на еталонних супутникових зображеннях. Порівняння кількісних показників по звичайним та пакетним вейвлетам, а також візуальні результати показали перевагу використання пакетних вейвлет-перетворень. Результати роботи можуть бути використані при подальшому розпізнаванні об'єктів та тематичній обробці знімків.

**Ключові слова:** HSV-перетворення, сканерне зображення, пакетне вейвлет-перетворення, інформативність.

Гнатушенко В.В., Каштан В.Ю. **Информационная технология повышения информативности многоканальных данных на основе пакетных вейвлет-преобразований.** В статье предлагается технология формирования нового синтезированного мультиспектрального изображения с увеличением пространственного разрешения. Целью исследования является создание новой информационной технологии улучшения визуального качества многоканальных изображений с использованием пакетных вейвлет-преобразований. Предложенный алгоритм был протестирован на эталонных спутниковых изображениях. Сравнение количественных показателей по обычным и пакетным вейвлетам, а также визуальные результаты показали преимущество использования пакетных вейвлет-преобразований. Результаты работы могут быть использованы при дальнейшем распознавании объектов и тематической обработке снимков.

**Ключевые слова:** HSV-преобразование, сканерное изображение, пакетное вейвлет-преобразование, информативность.

Hnatushenko V.V., Shevchenko V.J. **Information technology to improve the informative value of high resolution space images using packet wavelet transforms.** This article discusses to improve the spatial quality in multispectral satellite images. The aim was the satellite image resolution enhancement technology based on wavelet packet transforms. The proposed technology has been tested on satellite images. Comparison of quantitative indicators, as well as the visual results shows the advantage of using packet wavelet transforms. The results can be used for further object recognition and thematic processing of satellite images.

**Keywords:** remote sensing, panchromatic and multispectral images, HSV-transform, packet wavelet transform, informational content.

**Вступ.** Системи і методи оптичного дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в останні роки стали основними засобами контролю стану та явищ об'єктів на земній поверхні. Можливість ліквідації таких явищ земної поверхні як пожежі визначається оперативністю виявлення. Таким чином, найбільш підходящими вимогам оперативного моніторингу земної поверхні відповідають супутники з високою радіометричною роздільною здатністю і високою періодичністю зйомки (серії NOAA і EOS). Для моніторингу наслідків природних явищ та стану земної поверхні необхідно використовувати супутники з високим просторовим розрізненням: MODIS / EOS AM-1 Terra, Envisat, WorldView-1,2,3, RapidEye та ін. Така апаратура дозволяє отримати для заданого району місцевості сотні зображень в цифровій формі. Аналіз таких багатоканальних даних є дуже складним завданням і зводиться до виділення окремих об'єктів зображення, отримання їх характеристик і взаємного розташування. Типовий набір даних з апаратури ДЗЗ, встановленої на супутниках, включає: мультиспектральне (багатоканальне) зображення (MUL) та панхромне зображення (PAN). Панхромне зображення має зазвичай більш високу просторову роздільну здатність, ніж мультиспектральне, що суттєво ускладнює розпізнавання об'єктів і накладає обмеження на використовувані методи обробки. Існуючі методи обробки зображень з метою підвищення інформативності первинних даних мають ряд недоліків, основними з яких є поява кольорних спотворень [1, 2].

**Постановка наукової проблеми.** Метою роботи є підвищення просторового розрізнення первинного багатоканального зображення з мінімізацією кольорних спотворень. У якості вхідних даних використовуються знімки супутника WorldView-2. Для визначення ефективності розробленої інформаційної технології будуть отримані кількісні оцінки якості синтезованих мультиспектральних зображень, зокрема: ентропія по Шеннону, сигнальна ентропія та інші.

**Аналіз існуючих способів.**

На даний час існують різні методи отримання синтезованих мультиспектральних зображень із збільшенням просторового розрізнення за рахунок їх об'єднання з панхроматичним зображенням високої здатності в одному кольоровому знімку [1-4]. Для позначення цієї процедури найчастіше застосовується термін «злиття зображень» (в англійській літературі - image fusion, image sharpening, resolution merge). Попередню обробку зображень виконують методами, які використовують наступні перетворення: RGB, HSV, Brovey-перетворення, аналіз головних компонент та інші. Одним з найбільш перспективних і потужних математичних апаратів для обробки та аналізу аерокосмічних зображень виступає пакетне вейвлет-перетворення [5]. Його використання дозволяє отримати фотограмметричні сканерні зображення, що мають більш високу просторову і спектральну якість, ніж зображення, отримані з використанням традиційних методів, а також методів, які використовують дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) [6-10].

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

В даній роботі пропонується метод об'єднання на основі використання пакетної побудови вейвлет-базисів з декореляцією первинних видових даних.

Схема запропонованого алгоритму представлена на рис. 1. Перелічимо основні етапи перетворення первинних багатоканальних зображень:

1. Передискретизація багатоспектрального зображення (далі БСЗ) – RGB з метою приведення його розмірності до розмірності ПЗ.

2. Геометрична, радіометрична та контрастна корекція БСЗ та панхромного зображення (далі ПЗ) PAN.

3. Декореляція первинного БСЗ у HSV [2]:

$$f_{RGB}(r) \rightarrow f_{HSV}(r) \quad (1)$$

4. Розклад відповідного каналу яскравості БСЗ до заданого рівня декомпозиції (L) за оптимального пакетного вейвлет-базису у відповідності з обраною функцією інформаційної вартості (далі ФІВ):

$$f_x(r) = Tc_x^L(r) + \sum_{l=1}^L [Td_x^{l,1}(r), Td_x^{l,3}(r)]. \quad (2)$$

5. Розклад ПЗ до заданого рівня декомпозиції (L) за оптимального пакетного вейвлет-базису, побудованому на попередньому етапі:

$$f_p(r) = Tc_p^L(r) + \sum_{l=1}^L [Td_p^{l,1}(r), Td_p^{l,2}(r), Td_p^{l,3}(r)]. \quad (3)$$

6. Формування нових складових розкладу згідно з обраним правилом об'єднання коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} App_{\bar{x}}^L(r) &= Tc_x^L(r), \\ Det_{\bar{x}}(r) &= \sum_{l=1}^L [Td_p^{l,1}(r), Td_p^{l,2}(r), Td_p^{l,3}(r)] \end{aligned} \quad (4)$$

7. Зворотний пакетний вейвлет розклад та перехід до кольорової метрики RGB:

$$\begin{aligned} f_{\bar{XYZ}}(r) &= App_{\bar{x}}^L(r) + Det_{\bar{x}}(r), \\ f_{\bar{XYZ}}(r) &\rightarrow f_{\overline{RGB}}(r) \end{aligned} \quad (5)$$

Для відображення результатів дослідження інформаційних характеристики різних вейвлет-базисів та методів об'єднання використано конусну систему координат, радіус більшої основи якої дорівнює максимальному значенню функції по всій множині аргументів. Бічну поверхню розбито на сектори та підсектори в залежності від задачі. В межах сектору або підсектору результати наводяться у вигляді кольорових маркерів, де колір відповідає рівню вейвлет розкладу. Позиція маркера відповідає кінцевому значенню радіусу-вектора, початок якого належить внутрішньому радіусу окружності – умовний нуль. На діаграмах наводяться значення умовного нуля та максимального значення у абсолютних значеннях (I – II чверті) та значеннях, які визначають запас динамічного діапазону критерію інформативності (відбитих у III – IV чвертях) та визначаються у відповідності до наступного виразу:

$$Dd = 20 \log_{10} \left( \frac{C - Min}{Max} \right), \text{ дБ} \quad (6)$$

де Min, Max – відповідно мінімальне та максимальне абсолютне значення IX, C – поточне значення IX.

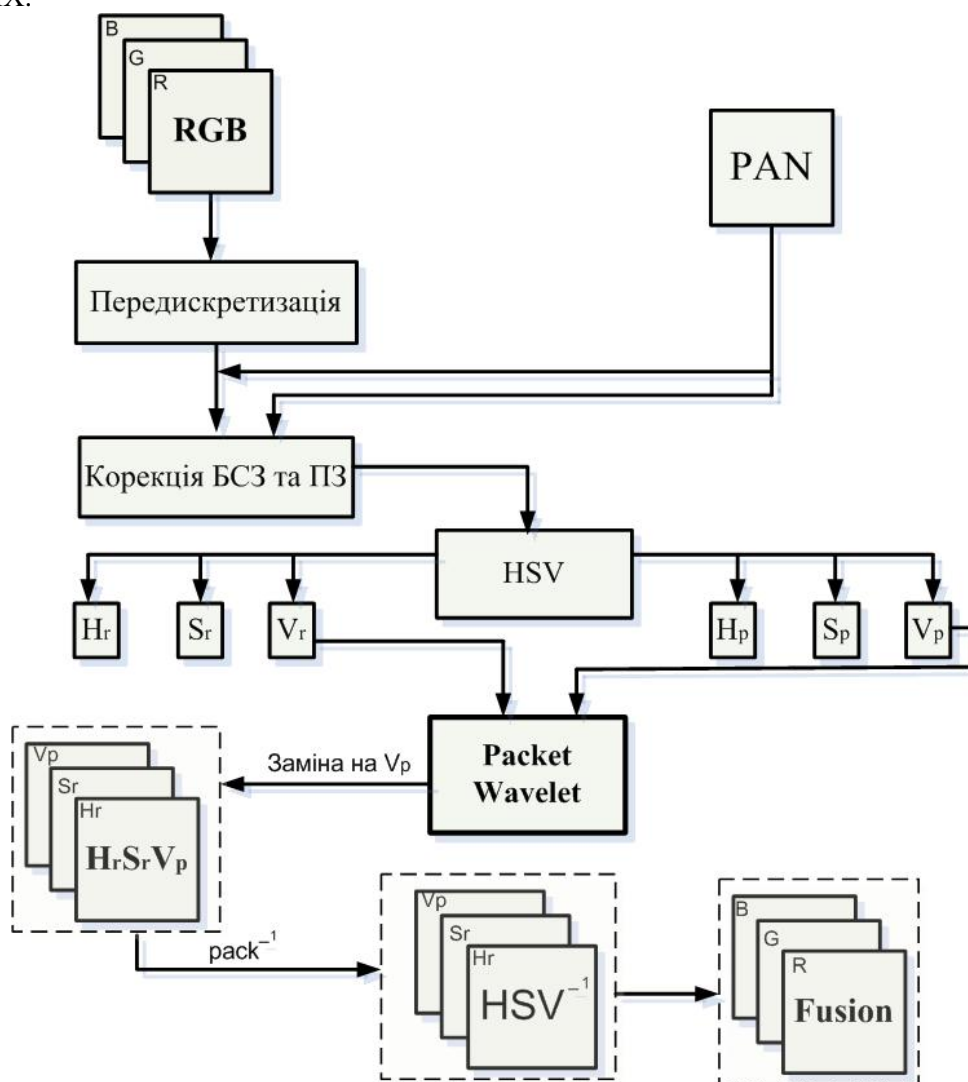


Рис.1. Схема алгоритму

Для проведення порівняльного аналізу математичних моделей необхідним є визначення мінімального геометричного розміру первинних даних. Встановлено, що геометричний розмір первинних даних є найбільш впливовим для визначення моделей, побудованих на базі пакетних вейвлет-перетворень, а саме для побудови оптимальних вейвлет-дерев за обраних ФІВ та вейвлет-фільтру. Вплив зазначених факторів полягає в отриманні (або неотриманні) оптимальної пакетної вейвлет-структури. Випадками неотримання оптимального вейвлет-дерева полягають у наступному:

- перехід пакетного дерева до структури звичайного вейвлета;
- отримання повного пакетного вейвлет-дерева.

Для встановлення факту отримання оптимального пакетного вейвлет-дерева використано наступний критерій:

$$E_s = 1 - \frac{n - n_0}{N - n_0}, \quad (7)$$

де  $n$  – загальна кількість вузлів отриманого пакетного вейвлет дерева,  $N$  – загальна кількість вузлів повного вейвлет дерева,  $n_0$  – загальна кількість вузлів звичайної вейвлет-структури.

Зазначений критерій набуває свого максимального значення (1) у випадку отримання повного пакетного вейвлет-дерева, а мінімального (0) – у випадку звичайної вейвлет-структури. Факт отримання оптимального вейвлет-дерева визначається показником (7), який не повинен приймати зазначених граничних значень. Оскільки надалі кожен з класів вейвлет фільтрів представлено двома його членами, то, в межах задачі по визначенню мінімального геометричному розміру первинних даних, розгляду буде підлягати вейвлет-фільтр з найбільшим порядком у межах класу.

Результати вирішення поставленої задачі наведені на рисунку 2, де в межах сектору наводяться результати, щодо представника кожного з класів вейвлет-розкладу, а саме фільтрів Добеші 12 порядку (db12), Симлета 12 порядку (sym12), Койфлета 5 порядку (coif 5), біортогонального порядку 9/11 (bior 6.8); в межах кожного підсектору – результати. Використані наступні ФІВ: ентропія за Шенноном (entropy), норма (norm), логарифм (log), сигнальна ентропія (sentropy) для первинних зображень з геометричним розміром з діапазону від 350x350 до 800x800 з кроком 50x50. В дужках, поруч з розмірами первинних даних, наведено максимальний рівень розкладу, характерного для даного геометричного розміру та типу вейвлет-фільтра, саме за такого рівня розкладу проведено розв'язання задачі. Оскільки найбільша зосередженість результатів визначена у діапазоні [0;0.9], то на рисунку 2 проведено збільшення його масштабу.

За отриманих результатів геометричні розміри первинних зображень прийняті рівними 650x650 пікселів, саме за таких розмірів вдається отримати оптимальні вейвлет-структури відповідно до зазначених вейвлет фільтрів та ФІВ. Характерним для проведеного порівняльного аналізу є тотожна поведінка визначеного критерію (7) при ФІВ, визначеної як логарифм, оскільки не залежно від розмірів первинних зображень та типів вейвлет-фільтрів набуває свого максимального значення, що відповідає випадку отримання повного пакетного вейвлет-дерева.

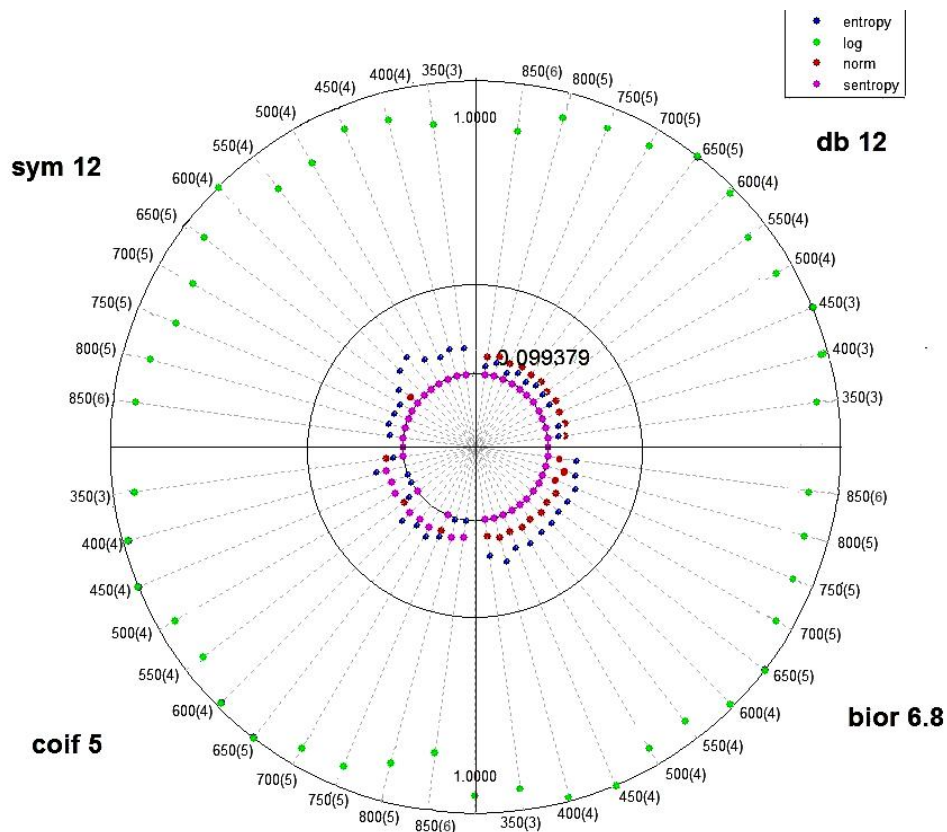


Рис.2. Залежність факту отримання оптимального пакетного вейвлет-дерева від розміру первинного зображення, порядку та класу вейвлет-фільтру

Дослідження були проведені для методу на основі: вибору максимального значення з двох величин (max) (використовується тільки разом з аргументами, поданими позицією обчислення ентропії за Шенноном в її розширеному означенні (entropy)); вибору ФІВ (використовуємо

логарифмічну (log) ентропію); вибору оптимального вейвлет-дерева (будується на базі БСЗ, а вейвлет-дерево ПЗ вирівнюється по отриманому оптимальному дереву (rgbbesttree)).

При аналізі отриманих результатів за ІХ "ентропія за Шенноном" максимум показника якості визначено при вейвлет-фільтрі bior 2.4; є не ефективним залучення вейвлет-розкладу на першому рівні декомпозиції. Крім того, найгірше значення показника якості спостерігається на першому рівні при залучення вейвлет-розкладу на базі вейвлет-фільтра db4 (рис.3).

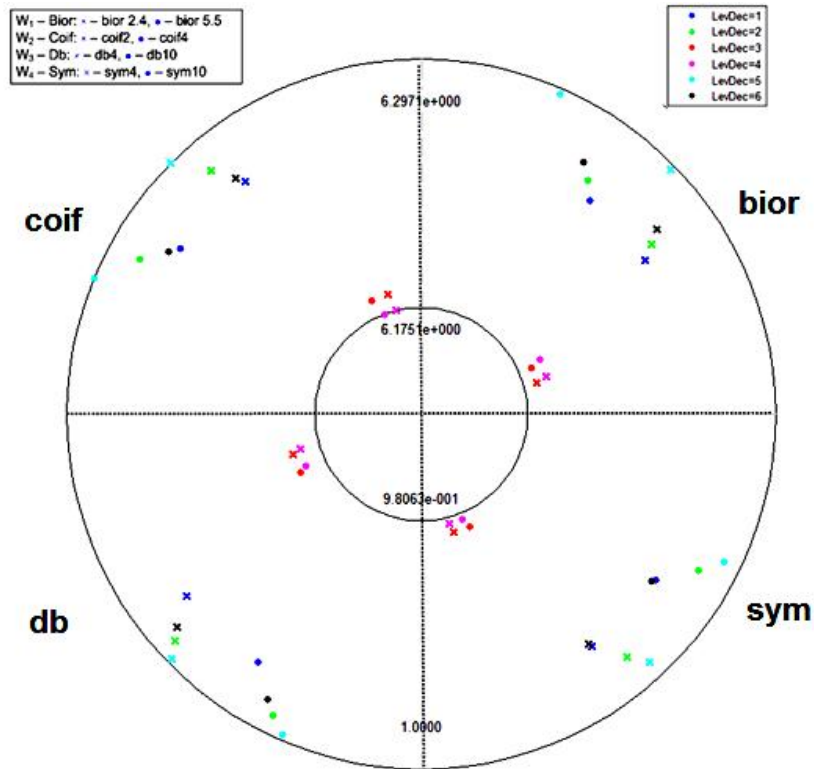


Рис.3. Результати оцінки якості отриманих зображень за методів об'єднання при пакетному вейвлет розкладі (ІХ – ентропія за Шенноном)

При аналізі отриманих результатів за ІХ "сигнальна ентропія": між першим другим та третім рівнями розкладу спостерігається більша розбіжність ніж між показниками якості попереднього критерію та більш чітко визначення глобального мінімуму

При аналізі отриманих результатів за ІХ "середньоквадратичне відхилення": максимум показника якості, визначено при вейвлет-фільтрі db4; спостерігається стрімкий зріст показника інформативності до третього рівня розкладу з подальшим менш стрімким зростом; спостерігається значна розбіжність між значеннями показника інформативності для методів об'єднання, отриманих за першого, другого та третього рівнів розкладу.

При аналізі отриманих результатів за ІХ "умовна ентропія за Шенноном" по відношенню до первинного БСЗ: максимум показника визначено при вейвлет-фільтрі bior 2.2; стрімкий зріст показника інформативності до другого рівня розкладу при вейвлет-фільтрі db4 та до третього рівня розкладу при вейвлет-фільтрі bior 2.2 підтверджує твердження відносно показника інформативності ентропії за Шенноном, про неефективність використання першого рівня вейвлет-розкладу.

При аналізі отриманих результатів за ІХ "умовна сигнальна ентропія" по відношенню до первинного БСЗ : динаміка даного критерію якості не значним чином відрізняється від критерію умовної ентропії за Шенноном.

При аналізі отриманих результатів за ІХ "інтегральна інформативність за Шенноном" та "сигнальна інтегральна інформативність" по відношенню до первинного БСЗ: динаміка ІХ Shannon VEntropy, в залежності від рівня вейвлет-розкладу, є спадаючою – максимальний спад спостерігається на другому рівні декомпозиції, з подальшим незначним збільшенням даної ІХ; динаміка ІХ Signal VEntropy, в залежності від рівня вейвлет-розкладу, також є спадаючою.

Порівняння абсолютних значень та запасів динамічних діапазонів ІХ щодо зображень, отриманих за процедури об'єднання, на базі звичайних та пакетних вейвлет-перетворень, свідчить про ефективність останніх (таблиця 1).

Для неоптимізаційних методів об'єднання характерним є отримання оптимальних результатів за використання біртогональних вейвлет фільтрів, що свідчить про більшу придатність фільтрів даного класу для вирішення задач об'єднання. Для пакетних вейвлет-перетворень найкращі показники за визначених ІХ та обчислювальної складності отримані для випадку, коли відсутні етапи оптимізації структур вейвлет-дерев за обраної ФІВ, що послаблює умову до мінімальних геометричних розмірів первинних видових даних, тобто геометричні розміри обмежуються лише потужностями множин, що задають НЧ та ВЧ фільтри та необхідним рівнем вейвлет-розкладу.

Аналіз якості зображень (рис.4), отриманих за методів об'єднання, при використанні геометричного показника засвідчив відсутність будь-яких афінних спотворень, що підтверджує лінійність запропонованих математичних моделей.

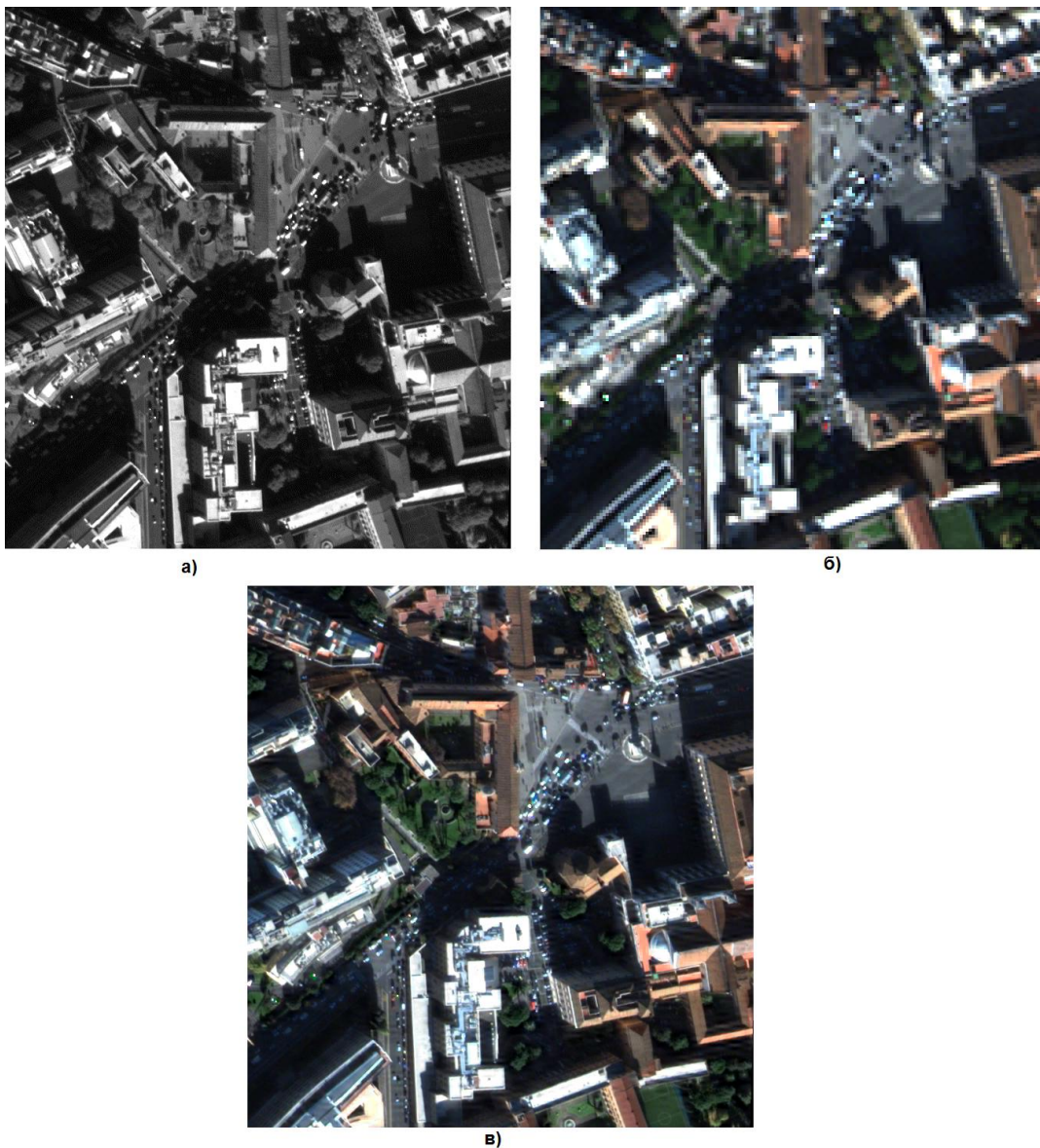


Рис.4. Результати пакетного вейвлет-розкладу біртогональних та ортогональних фільтрів при використанні запропонованої технології:

а),б) фрагменти первинних панхромного та багатоспектрального зображень відповідно,  
в) зображення після підвищення інформативності

Таблиця 1. Результати об'єднання на базі звичайних та пакетних вейвлет-перетворень

Критерій якості	Wavelet		Packet Wavelet	
	Мінімальне значення	Максимальне значення	Мінімальне значення	Максимальне значення
Не оптимізаційні моделі				
Shannon Entropy	6.0	6.9	6.8	7.2
Signal Entropy	7.76	7.7	7.75	7.83
Std2	65	69.5	71.5	68
Shannon RelEntropy	4.1	4.5	4.3	4.9
Signal RelEntropy	4.4	4.8	4.7	5.2
Оптимізаційна модель				
Shannon Entropy	6.1	6.4	6.1	6.5
Signal Entropy	7.66	7.76	7.75	7.80
Std2	66.2	69.1	65	66.7
Shannon RelEntropy	5.8	6.36	6.05	6.5
Signal RelEntropy	5.3	6.24	6.76	6.87

Таким чином, набагато менша поява екстремумів в динаміці показників якості свідчить про більшу стабільність методу об'єднання на базі пакетних вейвлет-перетворень та монотонно зростаючу залежність таких показників якості як ентропія за Шенноном, сигнальна ентропія, умовна ентропія за Шенноном та умовна сигнальна ентропія від рівня вейвлет-розкладу, починаючи з третього.

#### Висновки

У роботі вирішено актуальну задачу автоматизованого підвищення просторового розрізнення первинних багатоканальних зображень. Наукова новизна роботи та практична цінність отриманих результатів полягає у розробці нового методу злиття багатоканальних аерокосмічних зображень на основі HSV-конвертування і пакетного вейвлет-перетворення, що дозволяє поліпшити просторову здатність первинного цифрового зображення й уникнути спектральних спотворень в локальних областях. У порівнянні з існуючими методами злиття запропонована інформаційна технологія дозволяє уникнути істотних кольорних спотворень та підвищити точність подальшого розпізнавання об'єктів на зображеннях. Це досягається, зокрема, за рахунок попередньої корекції первинних знімків, оброблення даних у локалізованих спектральних базисах, оптимізованого за інформаційними характеристиками.

#### Перспективи подальших досліджень

Наші подальші дослідження будуть присвячені удосконаленню запропонованої технології підвищення інформативності багатоканальних даних з врахуванням особливостей різних видів пакетних вейвлетів та вибору оптимального розкладу.

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.
3. Гнатушенко В.В. Злиття аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі HSV-перетворення та вейвлет-декомпозиції / В.В. Гнатушенко, В.Ю. Шевченко // Вісник ХНТУ. – Херсон, 2014. – № 2 (47). – С. 100-105.
4. Гнатушенко В.В. Інформаційна технологія підвищення просторової розрізненості цифрових супутникових зображень на основі ІСА- та вейвлет-перетворень / В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Комп'ютерні науки та інформаційні технології", - Львів, 2013. - № 771. - С. 28-32.
5. Hnatushenko V.V., Hnatushenko Vik.V., Kavats O.O., Shevchenko V.Yu. Pansharpening technology of high resolution multispectral and panchromatic satellite images / Scientific Bulletin of National Mining University, 2015. Issue 4, pp. 91-98.
6. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов : Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671с., ил.
7. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Д. Даджион, Р. Мерсеро; пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
8. Чуи Ч. Введение в вейвлеты / Ч. Чуи – М.: Мир, 2001. – 648 с.
9. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 464 с.
10. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.