

Thus, according to the results of studies DWOMS of the Black Sea can be attributed to the soft clayey saturated soils. On digging difficulty this kind of grounds can be referred to the I Category of soils. Due highly dispersed structure DWOMS belong to the hard-dewatering materials. With increasing of depth from the bottom surface the humidity of the sediments decreases along with an increase in density and adhesion. The exception is the sapropel layer. Its high organic matter content causes higher humidity and adhesion along with lower density compared to the neighboring layers.

The data on the physical, mechanical and rheological properties of DWOMS in further will be used for justifying of parameters of mining and processing equipment.

#### References

1. Шнюков Е.Ф. Минеральные богатства Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов. – Киев: «Карбон-ЛТД», 2004. – 290 с.
2. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків [Текст]: ДСТУ Б В.2.1-8-2001. – Вид. офіц. – Вперше (зі скасуванням ГОСТ 12071-84); введ. 2001-11-30. – К.: Держкоммістобудування України, 2001. – 16 с. – (Система стандартизації та нормування в будівництві).
3. Ґрунти. Метод лабораторного визначення фізичних властивостей [Текст]: ДСТУ Б В.2.1-17-2009. – Вид. офіц. – Вперше (зі скасуванням ГОСТ 5180-84); введ. 2010-10-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2001. – 22 с. – (Система стандартизації та нормування в будівництві).
4. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості [Текст]: ДСТУ Б В.2.1-4-96. – Вид. офіц. – Вперше (зі скасуванням ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79, ГОСТ 23908-79, ГОСТ 24586-90, ГОСТ 25585-83, ГОСТ 26518-85); введ. 1996-11-01. – К.: Держкоммістобудування України, 1996. – 76 с. – (Система стандартизації та нормування в будівництві).
5. Добрецов В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / В.Б. Добрецов, В.А. Рогалев, Д.С. Опышко. □ СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2007. – 796 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Кіріченком Є.О.  
Надійшла до редакції 17.05.2014*

УДК 004

© В.В. Гнатушенко, Л.С. Загородняя

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

У роботі запропоновано нову технологію перетворення багатоканальних фотограмметричних даних для отримання мультиспектрального зображення з поліпшеними характеристиками просторового розрізнення, яка є більш ефективною у порівнянні з відомими алгоритмами, зокрема PCA, HSV, Wavelet.

В работе предложена новая технология преобразования многоканальных фотограмметрических данных для получения мультиспектрального изображения с улучшенными характеристиками пространственного разрешения, которая является более эффективной по сравнению с известными алгоритмами, такими как PCA, HSV, Wavelet.

The paper proposed a new multi-channel remote sensing data fusion technology to produce an image with improved spatial resolution. The performance of this proposed fusion technique is highlighted by comparing with conventional techniques like PCA, HSV, Wavelet.

**Вступление.** Снимки, полученные аэрокосмическими системами, находят применение в различных областях и позволяют решать разнообразные прикладные задачи. Большинство современных спутниковых систем, ведущих наблюдение за Землей, таких как Landsat, SPOT, IKONOS, QuickBird и другие, поставляют одновременно панхромные (или панхроматические) и многоспектральные изображения. Изображения, которые фиксируются в достаточно широком спектральном диапазоне интенсивности излучения (панхромные изображения), имеют существенно более высокое линейное разрешение, чем изображения, полученные в узких спектральных интервалах, совокупность которых образует многоспектральные изображения. Одной из проблем комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли, получаемых различными космическими системами является совместная обработка изображений, сформированных в разных спектральных диапазонах и с различным пространственным разрешением [1, 2]. Комплексование изображений от разных источников позволяет выделить дополнительную информацию, которая не проявляется в отдельном методе визуализации. Методы комплексования изображений относятся к синергетическим технологиям, поскольку при совместном анализе данных полученная информация является не избыточной, а элементарной, при которой различные источники удачно дополняют друг друга [3]. Для того чтобы изображения обладали одновременно высоким пространственным и спектральным разрешениями разработано большое количество методов получения синтезированных мультиспектральных изображений, которые включают в себя такие этапы обработки изображений как: преобразование в различные цветовые модели, повышение частоты дискретизации, применение линейной, бикубической и других интерполяций, замена одной из компонент изображения и т.д. Комплексование изображений производят известными методами «pan-sharpening», основанными на следующих преобразованиях: HIS, PCA, Wavelet, Color Normalized (Brovey), ICA, Gram-Schmidt и др. [1, 2, 4, 5]. Основной идеей этих методов является извлечение из изображения с более высоким разрешением пространственной информации, отсутствующей на снимке с низким разрешением, чтобы затем внедрить ее в результирующее изображение. Вместе с тем эта процедура часто приводит к нарушению цветопередачи.

**Целью работы** является разработка технологии комплексования многоканальных данных для получения синтезированного изображения с улучшенными характеристиками дешифрируемости (информативности) и с отсутствием цветовых искажений на получаемом снимке.

**Основная часть.** Предлагаемая технология включает в себя несколько этапов преобразования как мультиспектрального, так и панхроматического изображений. Характерной чертой большинства фотограмметрических изображений является значительный удельный вес темных участков и сравнительно малое число участков с высокой яркостью. Поэтому первым этапом предлага-

ется провести эквализацию мультиспектрального и панхромного изображений, с помощью которой возможно откорректировать исходное изображение, выровняв интегральные площади участков с различными яркостями. Далее создаем полноцветные изображения, значения пикселей которых представлены в цветовой системе HSV (hue – цветовой тон, saturation – насыщенность, volume – яркость) HSVmul, HSVpan. Далее применяем к яркостной компоненте V вейвлет-преобразование, схема которого представлена на рисунке 1. После преобразуем полученное изображение в цветовую модель HSV. Улучшенной яркостной компонентой  $V^*$  заменяем соответствующую компоненту в изображении HSVmul и переходим в цветовую модель RGB.

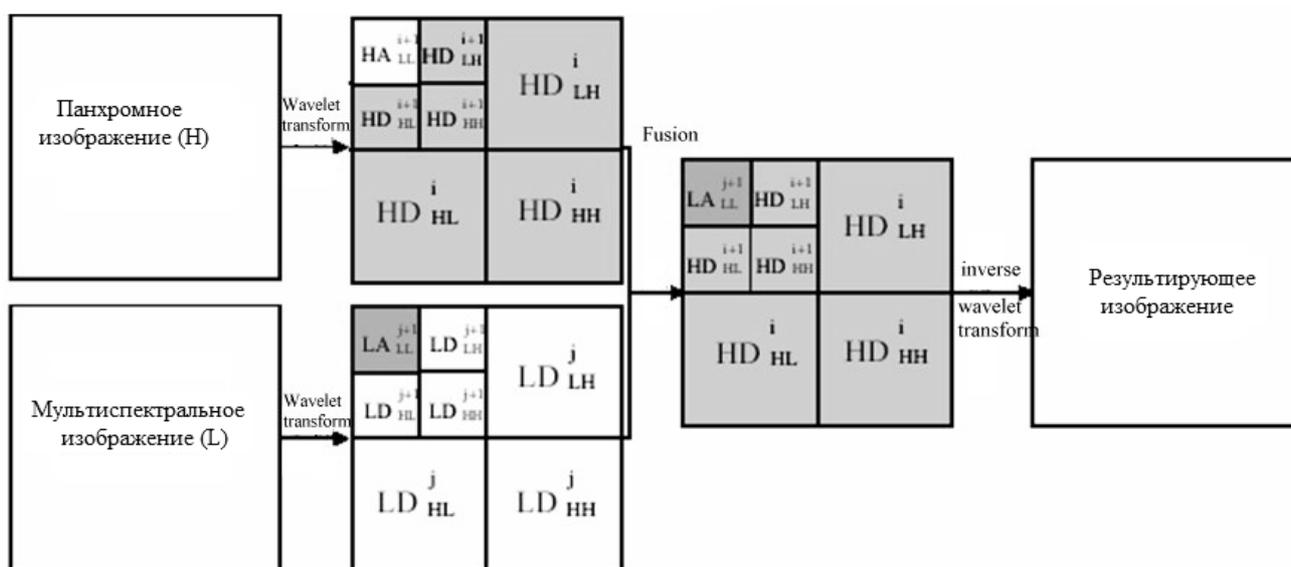


Рис. 1. Этап вейвлет-преобразования

На следующем этапе для определения статистически независимых производных признаков объектов, выделения и отображения их спектрального контраста переходим к использованию анализа независимых компонент (ICA). С анализом главных компонент тесно связаны такие понятия, как некоррелированность и гауссовский (нормальный) характер распределения данных, в то время как ICA связан со статистической независимостью и негауссовским распределением. Кроме того, оси не обязательно должны быть ортогональными. Модель, используемая в анализе независимых компонент, можно представить в виде:

$$y = H x, \quad (1)$$

где  $y$  —  $m$ -мерный случайный вектор,  $x$  —  $n$ -мерный случайный вектор с независимыми компонентами,  $H$  — некоторое неизвестное отображение  $R^n \rightarrow R^m$ ,  $m \geq n$ .

Задача ICA формулируется как задача поиска такой проекции вектора  $y$  на линейное пространство векторов  $x$ , компоненты, которой были бы статистически независимы. При этом для анализа доступна только некоторая статистическая выборка значений случайного вектора  $y$ . В алгоритме нами предлагается

замена после преобразования ICA первой компоненты мультиспектрального изображения компонентой панхроматического изображения. Следующим этапом после замены является обратное преобразование ICA. Схема предлагаемой технологии комплексирования цифровых многоканальных изображений представлена на рисунке 2.

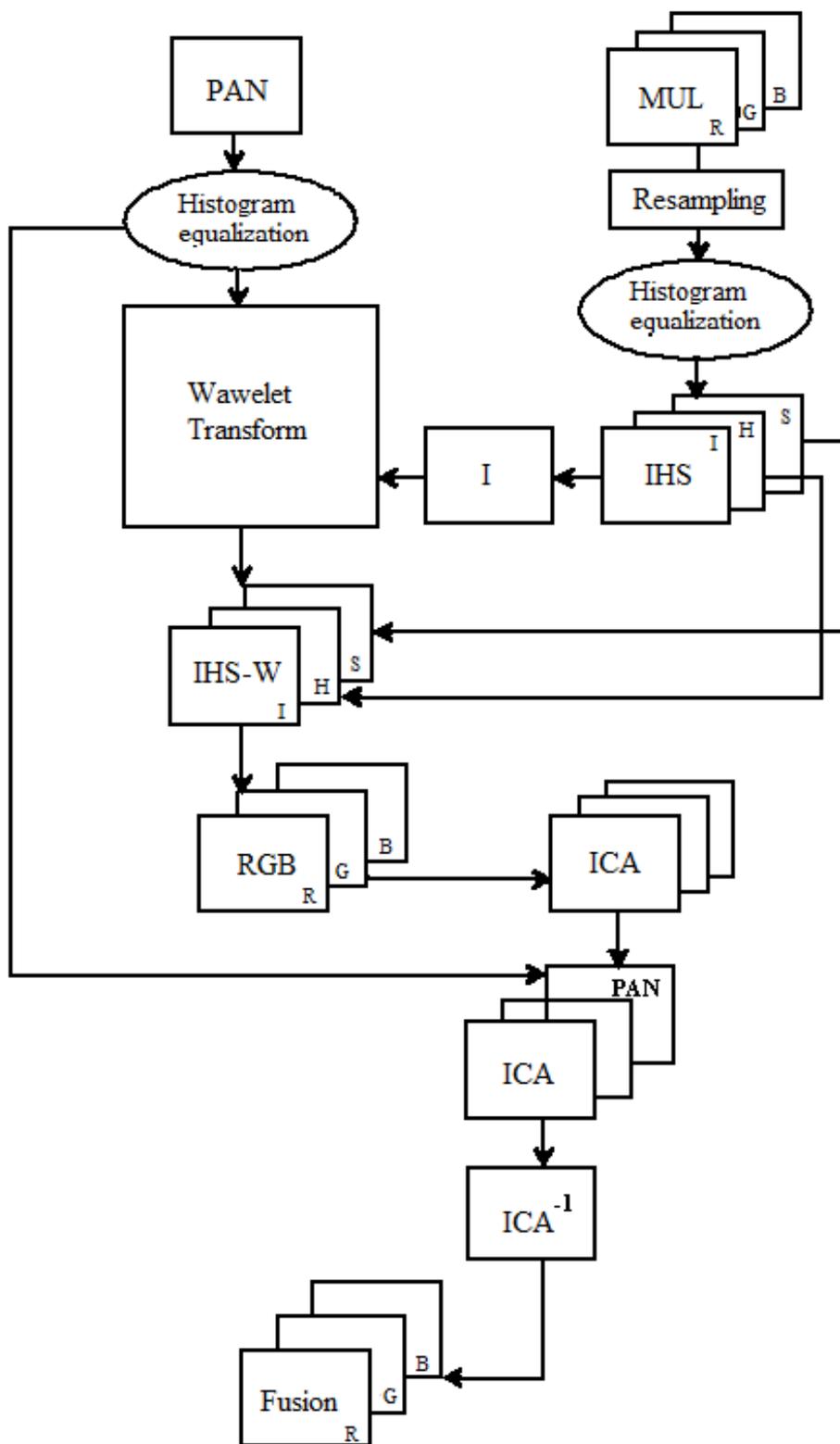


Рис. 2. Схема технологии комплексирования изображений

Предложенный алгоритм повышения информативности фотограмметрических видовых данных был реализован на первичных многоспектральных снимках, полученных спутником WorldView-2. На рисунке 3 представлены фрагменты двух космических изображений: а) изображение до обработки, б) синтезированное мультиспектральное изображение после комплексирования.

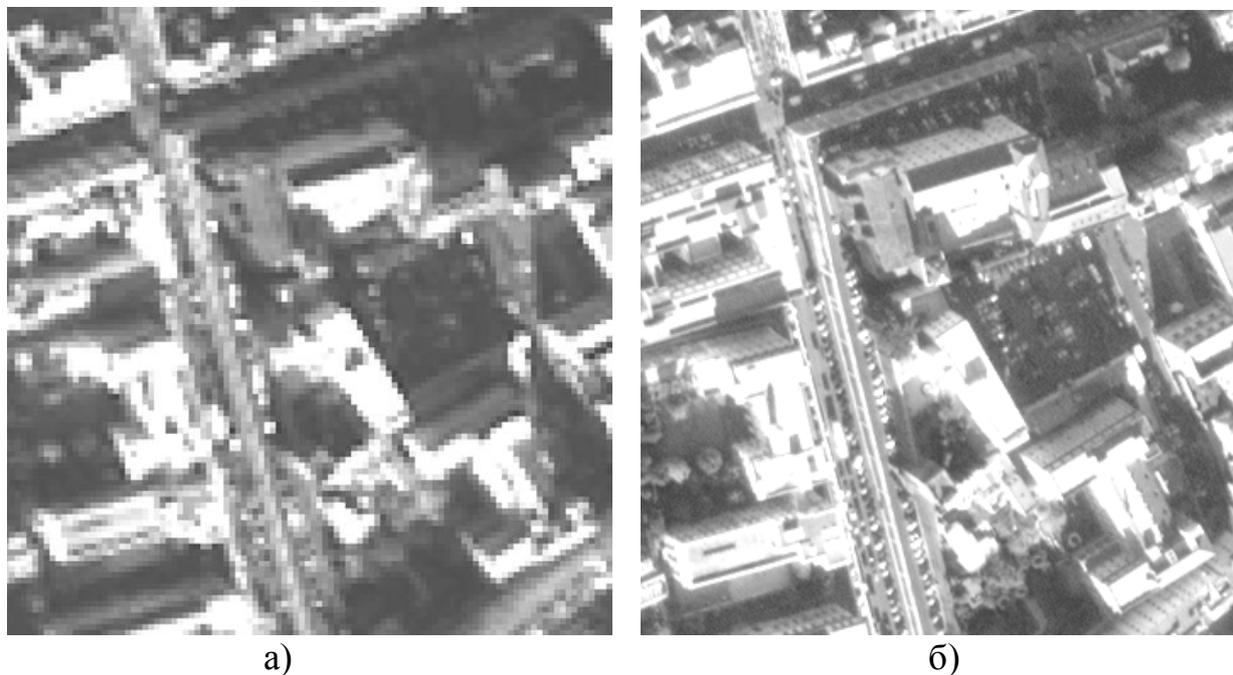


Рис. 3. Фрагменты мультиспектральных изображений WorldView-2 до (а) и после обработки (б)

Важную роль в цифровой обработке изображений играет оценка их качества. При этом в силу субъективности человеческого восприятия оценка визуального качества изображений представляет собой сложную трудноформализуемую проблему. В качестве меры информативности изображений часто используется понятие информационной энтропии Шеннона, устанавливающей среднее количество информации на пиксель изображения. Для полутонового изображения  $A$  с плотностью вероятности яркости пикселя  $p(A)$  и интервалом возможных значений яркости  $[0, 255]$ , энтропия рассчитывается следующим образом:

$$E(A) = - \sum_{k=0}^{255} p_k(A) \times \log_2[p_k(A)]. \quad (2)$$

Часто в качестве оценки также используется коэффициент корреляции  $K$ , который отражает корреляцию между исходным мультиспектральным и синтезированным изображениями. Чем выше корреляция между указанными изображениями, тем лучше оценка спектральных значений. Идеальное значение коэффициента корреляции равно 1.

Для двух цифровых изображений  $A$  и  $B$  используется следующее выражение:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (A_{i,j} - \bar{A})(B_{i,j} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (A_{i,j} - \bar{A}) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (B_{i,j} - \bar{B})}}, \quad (3)$$

где  $\bar{A}, \bar{B}$  — средние значения соответствующих наборов данных;  $N, M$  — размеры изображений.

Полученные количественные оценки качества синтезированного изображения в сравнении с исходными данными представлены в таблице 1. В таблице указаны рассчитанные значения энтропии (2) для исходных мультиспектрального и панхромного изображений, а также для синтезированного изображения за предложенной технологией обработки (размер изображений 4000\*4000 пикселей).

Таблица 1

Оценка информативности изображений

Изображения	Значения энтропии
Панхромное (Pan)	7.2798
Мультиспектральное (Mul)	7.1750
Синтезированное изображение (Fusion)	<b>7.5589</b>

В таблице 2 приведены значения коэффициента корреляции (3) для синтезированных мультиспектральных изображений, полученных отдельно известными методами слияния (ICA, HSV, Wavelet) и с использованием предложенного в работе алгоритма. Анализ результатов свидетельствуют о том, что синтезированное изображение с максимальной детализацией (информативностью) достигается при комплексировании по предложенной технологии с предварительной эквализацией исходных изображений.

Таблица 2

Оценка эффективности методов

Метод	Значения коэффициента корреляции		
	R	G	B
ICA	0.951	0.942	0.911
HSV	0.968	0.964	0.967
Wavelet	0.953	0.965	0.964
Предложенный (Fusion)	<b>0.982</b>	<b>0.970</b>	<b>0.973</b>

**Выводы.** Исследования показали, что предложенная технология комплексирования Equalisation-HSV-wavelet-ICA позволяет повысить пространственное разрешение исходного мультиспектрального изображения без нарушения цветопередачи, что является характерным для классических методов слия-

ния при обработке данных, полученных современными сканерными системами. Предложенный метод слияния изображений фактически может расширить возможности использования данных ДЗЗ, так как для многих областей, особенно для ГИС приложений, требуется, чтобы изображения обладали одновременно высоким пространственным и спектральным разрешениями.

Наши дальнейшие исследования будут посвящены разработке технологии комплексирования цифровых фотограмметрических изображений с использованием данных инфракрасного диапазона и лидарной съемки.

#### Список літератури

1. 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.
2. R. Schowengerdt. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. New York: Academic Press; 2007.
3. Кисляков А.Н. Цветовое кодирование изображений в многоканальных системах дистанционного зондирования земной поверхности / О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань. – 2013, № 1. – С. 116-120.
4. Hnatushenko V. Computer technology more informative multispectral images of the earth surface / V. Hnatushenko, A. Safarov // Applied Geometry and Engineering Graphics. - K.: KNUBA, 2012. - Vol. 89. – С. 140-144.
5. Yuhendra Sumantyo. Performance Analyzing of High Resolution Pan-sharpening Techniques: Increasing Image Quality for Classification using Supervised Kernel Support Vector Machine / Yuhendra Sumantyo [Электронный ресурс] - <http://scialert.net/abstract/?doi=rjit.2011.12.23>.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 15.04.2014*

УДК 65.011.56:656.073:622.611

© І.В. Козіна

### **АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ДОПОМІЖНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ**

Предложен алгоритм усовершенствования автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) для управления процессами доставки грузов к подготовительным забоям угольных шахт. Выполнена оптимизация технологической транспортной схемы, что позволяет экономить энергию локомотива, затраченную при транспортировании вспомогательных грузопотоков.

Запропоновано алгоритм вдосконалення автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ) для управління процесами доставки вантажів до підготовчих вибоїв вугільних шахт. Виконана оптимізація технологічної транспортної схеми, що дозволяє економити енергію локомотива, витрачену при транспортуванні допоміжних вантажопотоків.