

Х. Бурштинська, І. Долинська
Національний університет "Львівська політехніка"

ВПЛИВ АТМОСФЕРИ НА КОСМІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ЇЇ ВРАХУВАННЯ

© Бурштинська Х., Долинська І., 2013

Синтезированы изображения, полученные по каналам съемочной системы WorldView-2 с целью определения возможностей идентификации различных типов объектов. Для учета влияния атмосферы использована методика компьютерной обработки изображений, которая базируется на определении спектральной яркости пикселей, а также получения откорректированных изображений на основе определения вегетационных индексов ARVI, устойчивых к влиянию атмосферы.

The multispectral images obtained from the space remote sensing system WorldView-2 were used for identification of different objects types. To account the atmosphere influences on image quality we used a special method which based on spectral pixels brightness computations. Beside that the improved pictures was obtained with use of vegetation indexes ARVI, resistant to atmospheric influences.

Постановка проблеми. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) має багату інформаційну основу. Залежно від розміру світлочутливого елемента сенсора знімальної системи можна отримати розрізнення на земній поверхні, яке для кращих знімальних систем сягає 40–50 сантиметрів. Такі космічні знімки використовують для картографування великих та середніх масштабів.

Зауважимо, що використання космічних знімків доцільне тоді, коли виникає потреба в актуальній постійно оновлюваній картографічній інформації або дослідженні моніторингових процесів та явищ чи динаміки змін за конкретний проміжок часу. Космічні знімки, особливо багатоканальні та гіперканальні, дають змогу отримувати інформацію про об'єкти, яка недоступна іншими методиками. За допомогою таких знімків можна діагностувати стан посівів, вегетаційні фази та їх відповідність «нормі», оцінювати типи ґрунтів та навантаження на них, прогнозувати врожай, виділяти водні об'єкти, проводити інвентаризацію лісів, визначати екологічний стан території тощо. Наприклад, використовуючи певні особливості космічних систем, можна розрахувати вегетаційні індекси, які безпосередньо "відповідають" за активну та здорову біомасу рослинності [4].

Сучасна мультиспектральна і гіперспектральна сканувальна апаратура, за допомогою якої виконують знімання земної поверхні з космосу, є радіометрично відкаліброваними багатоканальними відеоспектрометрами. Для кожного пікселя зображення реєструється набір яскравостей багатоспектральними або гіперспектральними системами, які охоплюють діапазон електромагнітних хвиль від видимого до теплового [3, 6]. Космічні зображення, через значні обсяги інформації, опрацьовують за допомогою спеціальних програм.

Окремим питанням обробки космічних зображень є зменшення впливу основних чинників, що пов'язані з внутрішніми параметрами знімання системи: розрізняювальної здатності ПЗЗ-матриці, якості оптичних вузлів, фокусної відстані камери, дефокусування; та зовнішніх чинників – які залежать від контрасту об'єктів, зсуву зображення, а особливо, впливу атмосфери.

Аналіз літератури та теоретичні дослідження. Всі об'єкти земної поверхні мають різну відбивну здатність. Щоб чіткіше уявити взаємозв'язок спектральної відбивної здатності основних класів об'єктів, до яких належать ґрунти і геологічні породи, рослинність та водні і снігові об'єкти,

подано графік спектральних коефіцієнтів для різних класів об'єктів залежно від довжини хвиль електромагнітного спектра (рис. 1).

Для отримання графіків використовують залежності:

$$r_{\lambda} = \frac{B_{\lambda}}{B_{0\lambda}}, \quad (1)$$

де B_{λ} – монохроматична яскравість об'єкта в нормальному до нього напрямку; $B_{0\lambda}$ – монохроматична яскравість горизонтальної, цілком відбивної поверхні в нормальному до неї напрямку.

Враховуючи (1) та певний спектральний діапазон, інтегральний коефіцієнт яскравості r_{λ} запишемо:

$$r_{\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{0,\lambda} d\lambda}. \quad (2)$$

Покажемо на графіку особливості спектральних коефіцієнтів залежно від довжини хвилі (рис. 1).

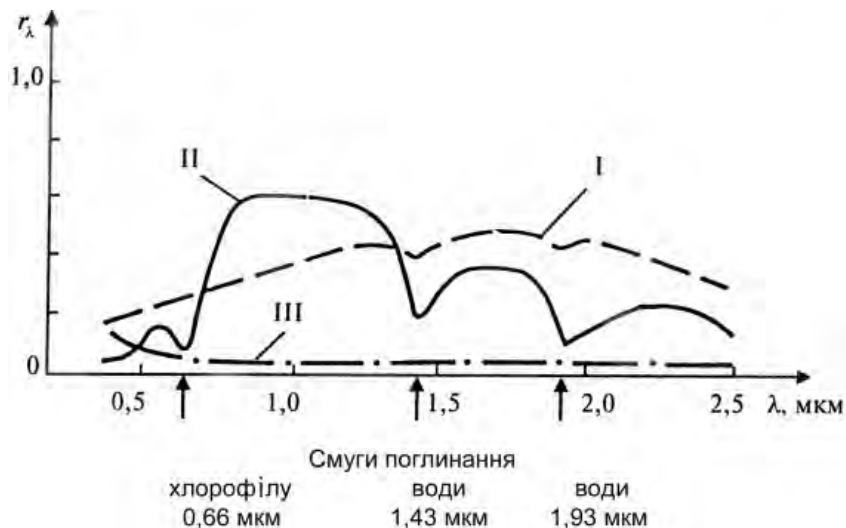


Рис. 1. Основні криві спектральних яскравостей основних класів природних об'єктів:
I – ґрунти та гірські породи, II – рослинний покрив, III – водні поверхні

На зображення об'єктів місцевості накладається зображення шару, яке залежить від стану атмосфери та часу знімання. Усунення впливу атмосфери – важливий етап попереднього опрацювання зображення для кількісного аналізу відображення поверхні.

Атмосфера може впливати на значення яскравостей, що реєструються знімальною системою, двома способами: розсіюванням і поглинанням енергії електромагнітних хвиль. Розсіювання виникає, коли випромінювання в атмосфері відбивається або заломлюється частинками молекул газів, що складають атмосферу, крупинками пилу і молекулами водяної пари. Згідно з теорією [1, 5], розсіювання в різних спектральних ділянках неоднакове. Короткохвильова сонячна радіація розсіюється сильніше порівняно із довгохвильовою. Розсіювання призводить до зменшення контрасту та потускніння зображення. Частина сонячної радіації поглинається як молекулами газів, так і аерозольними частинами. Пропускання – коефіцієнт, який вказує на відношення світла, яке падає, і того, що проходить крізь атмосферу.

Для атмосферного коригування зображень необхідно знати такі параметри, як кількість водяної пари, розподіл аерозолів, видимість тощо [7]. Оскільки безпосередньо визначити ці складові атмосфери не завжди можливо, розробляють методи врахування впливу атмосфери на

підставі аналізу спектральних значень яскравостей пікселів або на підставі формування зображень, отриманих із обчислення вегетаційних індексів.

Постановка завдання. В задачу дослідження входило синтезування зображень із каналів знімальної системи WorldView-2 з метою визначення можливостей ідентифікації різних типів об'єктів. Для врахування впливу атмосфери використано методику комп'ютерного опрацювання зображень, яка ґрунтується на визначенні спектральної яскравості пікселів, а також отримання відкоригованих зображень на підставі визначення вегетаційних індексів, стійких до впливу атмосфери.

Експериментальні дослідження. Для проведення досліджень використано три космічні зображення, отримані із знімальної системи WorldView-2, на територію смт. Івано-Франкове Львівської області. Перше зображення виконано 30 квітня 2010 року, друге – 15 серпня 2011 року, третє – 8 серпня 2012 року.

Космічний апарат WorldView-2 запущений 8 жовтня 2009 року з авіабази Ванденберг в Каліфорнії, США [9]. Супутник WorldView-2 виведено на сонячно-синхронну орбіту висотою 770 км, що забезпечує його перебування над будь-якою точкою земної поверхні кожні 1–4 дні. WorldView-2 проводить знімання з розрізненням 0,46 м у панхроматичному та 1,84 м у мультиспектральному режимах зі смугою огляду 16,4 км у надирі. Точність географічної прив'язки знімків без використання наземних опорних точок – 6,5 м. Принципова відмінність WorldView-2 від його попередників, супутників QuickBird та WorldView-1, – це можливість знімання надвисокого розрізнення у восьми спектральних каналах.

У голубій спектральній ділянці добре виділяються контури об'єктів та об'єкти, що мають жовтий і брудно-білий колір. Зелений спектральний діапазон використовують для оцінювання відбивної здатності рослинності та ідентифікації стану рослин. Червона спектральна ділянка чутлива до наявності хлорофілу. Інфрачервону ділянку використовують для виявлення рослинності, її стану та низки фітометричних показників.

Поряд з чотирма традиційними каналами WorldView-2 пропонує додаткові канали для поглибленого мультиспектрального аналізу [8]. Насамперед це фіолетовий, або «береговий» канал, який можна використовувати для моніторингу прибережних акваторій, для ідентифікації рослинності та батиметричних досліджень, заснованих на характеристиках хлорофілу і проникності води. Жовтий і крайній червоний канали застосовуються для дослідження стану рослинності. Другий ближній інфрачервоний канал частково перетинається з першим ближнім інфрачервоним, але менше піддається атмосферному впливу; він також дає додаткові можливості для досліджень рослинності та біомаси. Спектральні діапазони каналів системи WorldView-2 такі: 1 – фіолетовий або «береговий» канал (0,40–0,45 мкм), 2 – голубий канал (0,45–0,51 мкм), 3 – зелений канал (0,51–0,58 мкм), 4 – жовтий канал (0,58–0,62 мкм), 5 – червоний канал (0,63–0,69 мкм), 6 – крайній червоний (0,70–0,74 мкм), 7 – з перший ближній інфрачервоний (0,77–0,89 мкм), 8 – другий ближній інфрачервоний канал (0,86–1,04 мкм)

Щоб виконати процедуру синтезування, обирають три зональні зображення, які розглядають як червону, зелену й синю складову палітри RGB. Отримане кольорове зображення сприяє кращій ідентифікації об'єктів знімання. Результати синтезації оцінюють візуально, цілеспрямовано підбираючи зональні знімки для кольорових компонентів. На рис. 2 подано синтезоване зображення системи WorldView-2 з комбінацією крайнього червоного, жовтого та голубого каналів. Поєднання таких каналів дає можливість детальніше дешифрувати стан та види рослинності на зображенні. На рис. 3 наведено синтезоване зображення тієї самої системи з поєднанням червоного, другого ближнього інфрачервоного каналу та фіолетового «берегового» каналів. Поєднання таких каналів дає можливість дешифрувати водні об'єкти на знімку та чіткіше виділяти їх берегові лінії.

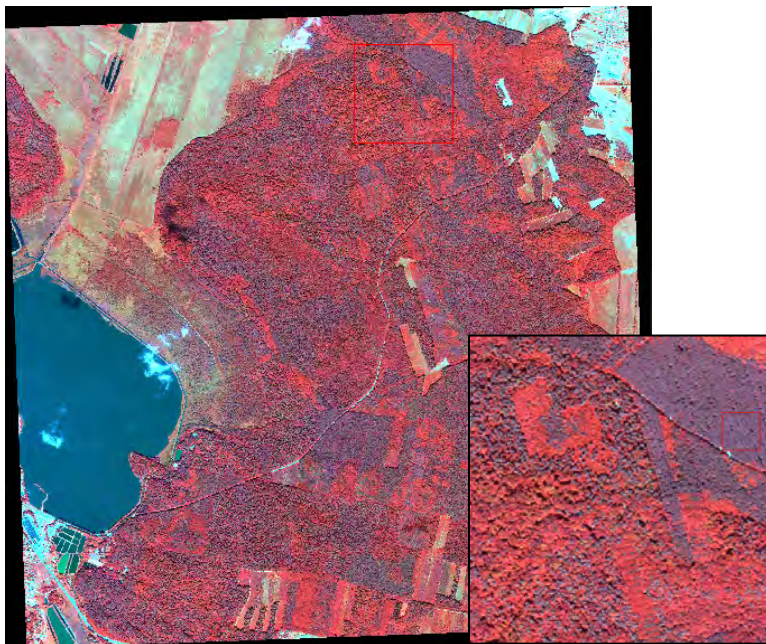


Рис. 2. Синтезоване зображення системи WorldView-2: комбінація 6–4–2 канали

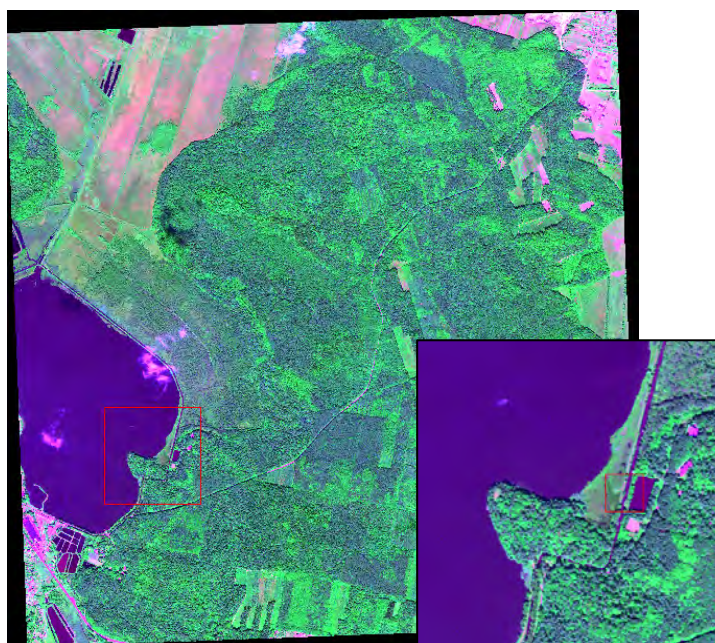


Рис. 3. Синтезоване зображення системи WorldView-2: комбінація 5–8–1 канали

Враховували вплив атмосфери за допомогою модулів програмного комплексу ENVI та вегетаційних індексів, стійких до впливу атмосфери. Програмний пакет ENVI завдяки мові програмування IDL (Interactive Data Language) може забезпечити повний комплекс робіт з обробки знімків, отриманих мультиспектральними і гіперспектральними знімальними системами [4]. Модуль ACM (Atmospheric Correction Module) програмного пакета ENVI містить два алгоритми для усунення впливу атмосфери: Quick Atmospheric Correction (QUAC) та Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) [2]. Алгоритм FLAASH дає змогу отримувати точніші дані для коригування зображень, ніж алгоритм QUAC, але потребує додаткової інформації для їх опрацювання.

Для атмосферного коригування зображень ми використали алгоритм FLAASH. На відміну від інших алгоритмів коригування впливу атмосфери, які інтегрують значення переданого випромінювання

із попередньо обчислених баз даних, FLAASH містить вихідний код моделі MODTRAN4 [8]. При виборі будь-якої стандартної моделі MODTRAN головними є сезонні характеристики, зокрема, літо в середніх широтах, зима в середніх широтах тощо, та тип місцевості, що пов'язано із складом аерозолів: сільська місцевість, місто, морські території. Параметри MODTRAN розраховують саме для даної сцени.

Для розрахунку відкоригованих значень яскравості використовують формулу:

$$L = \left(\frac{Ap}{1 - p_e S} \right) + \left(\frac{Bp_e}{1 - p_e S} \right) + L_a, \quad (3)$$

де L – значення яскравості пікселя; p – значення відбиття пікселя; p_e – середнє значення відбиття пікселя і його найближчої ділянки; L_a – яскравість відбитого сигналу, розсіяного атмосферою; A і B – коефіцієнти, які залежать від атмосферних умов; S – сферичне альbedo атмосфери. Значення A , B , S обчислюються в моделі MODTRAN.

Проведене нами коригування впливу атмосфери за допомогою алгоритму FLAASH на конкретних знімках показало істотне покращення контрасту обох зображень, що свідчить про доцільність його використання під час обробки космічних зображень. На рис. 4 порівняно вихідне зображення системи WorldView-2, отриманого 30 квітня 2010 року, та результат коригування цього зображення за допомогою модуля FLAASH.

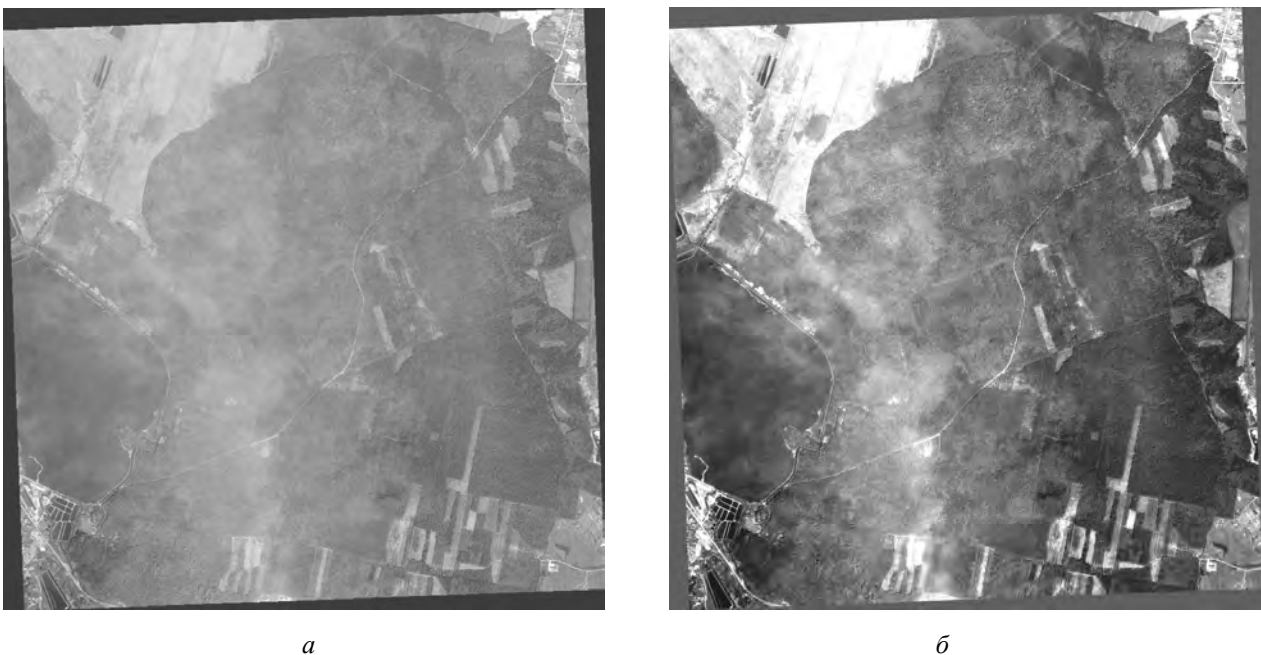


Рис.4. Результати опрацювання зображення:
 а – вихідне зображення; б – зображення, відкориговане за допомогою модуля FLAASH

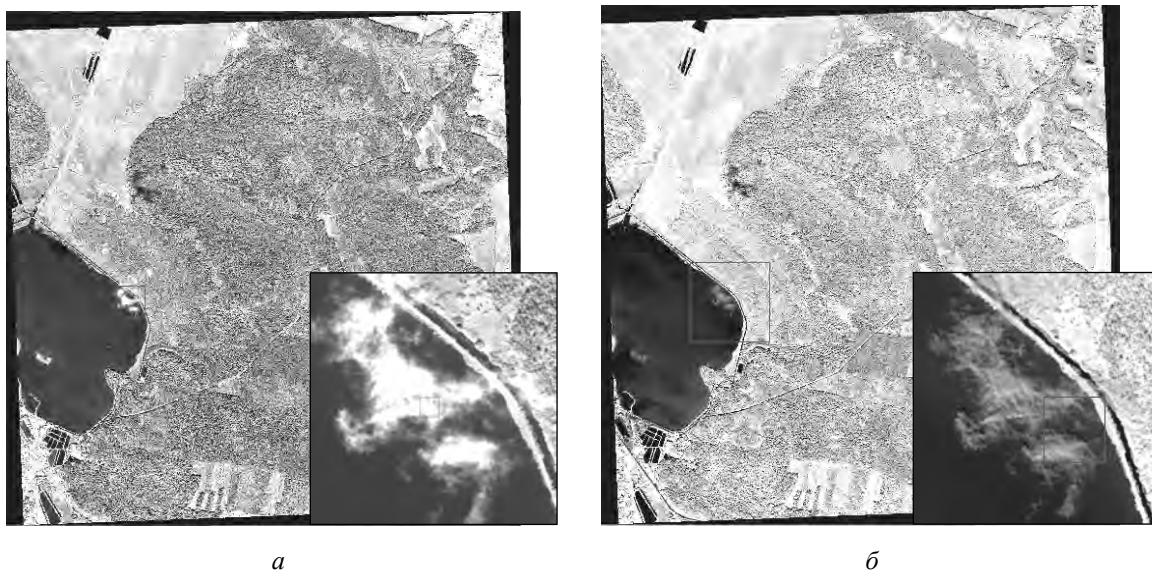
Наступним етапом досліджень було врахування впливу атмосфери за допомогою вегетаційного індексу ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index). Його визначили на основі емпіричних досліджень [4] за формулою:

$$ARVI = \frac{NIR - Rb}{NIR + Rb}, \quad (4)$$

$$Rb = RED - a(RED - BLUE) \quad (5)$$

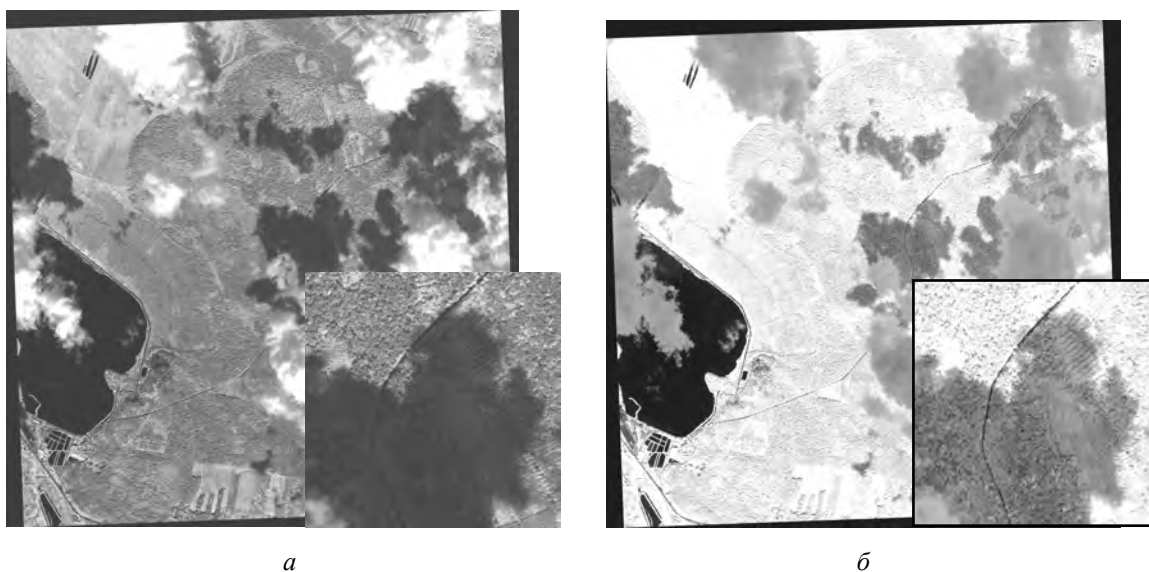
де NIR – значення яскравостей пікселів в інфрачервоному діапазоні; RED – значення яскравостей пікселів в червоному діапазоні; $BLUE$ – значення яскравостей пікселів в голубому діапазоні. Як правило, $a = 1$; а за слабого покриття рослинності і невідомого типу атмосфери $a = 0.5$.

Провівши дослідження використання вегетаційного індексу ARVI на конкретних зображеннях, встановлено, що для зображень, на яких спостерігається аерозольний серпанок, результативне зображення має підвищений контраст. Виявлено, що вегетаційний індекс ARVI дає можливість суттєво зменшити вплив атмосфери, зокрема, зменшити хмарність на зображенні. На рис. 5 показано вихідне зображення системи WorldView-2, отримане 8 серпня 2012 року, та результат опрацювання цього зображення за допомогою вегетаційного індексу ARVI.



*Рис. 5. Результати опрацювання зображення:
а – вихідне зображення в панхроматичному каналі;
б – зображення, покращене за допомогою вегетаційного індексу ARVI*

Для зображення, отриманого 15 серпня 2011 року, спостерігаємо значну хмарність та затінення території (рис. 6, а). Використання вегетаційних індексів особливо ефективно для затієних хмарами територій.



*Рис. 6. Результати опрацювання зображення:
а – вихідне зображення в панхроматичному каналі;
б – зображення, покращене за допомогою вегетаційного індексу ARVI*

Використавши для покращення цього зображення вегетаційний індекс ARVI, ми отримали результат (рис. 6, б), на якому можна чітко дешифрувати території, які були значно затінені хмарами на вихідному знімку. Крім того, слід зазначити чіткіше зображення водних об'єктів.

Висновки. Синтезовано 8-канальний знімок системи WorldView-2 з метою визначення можливостей ідентифікації за зображеннями різних типів об'єктів, зокрема встановлено, що поєднання 6–4–2 каналів дає можливість дешифрувати стан та види рослинності на зображенні, а поєднання 5–8–1 каналів дає можливість дешифрувати водні об'єкти на знімку та чіткіше виділяти їх берегові лінії.

На підставі проаналізованої спеціальної літератури встановлено, що атмосфера має домінуючий вплив на передавальні характеристики зображення. Вплив атмосфери враховано за допомогою модулів програмного комплексу ENVI та вегетаційних індексів, стійких до впливу атмосфери.

Аналізом проведених досліджень з'ясовано, що за відомих точних параметрів атмосфери доцільно виконувати атмосферне коригування зображення, використовуючи модуль FLAASH програмного пакета ENVI.

Для територій, на яких спостерігається інтенсивний вплив атмосфери, зокрема хмарності, кращі результати отримано з використанням вегетаційного індексу ARVI, особливо на ділянках, затінених хмарами.

1. Буришинська Х.В., Станкевич С.А. Аерокосмічні знімальні системи. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 292 с.; 2. Буришинська Х, Долинська І. Врахування впливу атмосфери під час опрацювання космічних зображень // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С. 70–73. 3. Колесникова О.Н., Черепанов А.С. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных // Геоматика. – 2009. – №3. – С. 24–27; 4. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: Підручник / Передм. Д.О. Мельничука. – К.: Вища шк., 2009. – 511 с. 5. Кучко А.С. Аэрофотография и специальные фотографические исследования. – М.: Недра, 1988. – 236 с. 6. Лялько В.І., Попов М.О. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с. 7. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. Аэрокосмическая фотосъемка: учебник. – М.: «Картогеоцентр» – «Геодезиздат», 1997. – 378 с. 8. <http://www.pixelsolutions.com.ua>. – Атмосферная коррекция в ENVI – модуль FLAASH; 9. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2.html>.