

УДК 528.854.4

**СТАНКЕВИЧ С.А.**, старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту авіації, доктор технічних наук, доцент

**ВАСЬКО А.В.**, аспірантка Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України

## **АЛГОРИТМ РОБАСТНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ RGB ТА CIR АЕРОЗНІМКІВ**

*Запропоновано алгоритм робастної класифікації повнокольорових та псевдокольорових аерознімків на основі повного набору нормалізованих зонально-різницевих індексів. Застосування даного алгоритму дозволить забезпечити стійкість класифікації до невідомих викривлень зональних оптичних сигналів і тим самим підвищити її точність*

Отримання класифікації покриттів та об'єктів аероландшафту практично завжди є важливою складовою тематичної інтерпретації матеріалів аерознімання. Зараз основним методом автоматизованої класифікації аерознімків є інтерактивне задання оператором областей інтересу (region of interest – ROI) з наступним послідовним віднесенням кожного пікселу цифрового зображення до того чи іншого класу за його спектральною сигнатурою згідно з одним з відомих алгоритмів статистичного оцінювання [1]. Для забезпечення надійності та стійкості такої класифікації потрібні багатоспектральні зображення, тому збільшення кількості спектральних діапазонів реєстрації є виразною тенденцією удосконалення аерокосмічної знімальної апаратури [2].

Поряд з тим, швидкий розвиток надмалої авіації, в тому числі безпілотної, водночас з доступністю сучасних технологій цифрового знімання призводять до розповсюдження аерознімальних систем на основі професійних цифрових камер загального призначення. Такі системи формують або тризональні повнокольорові цифрові зображення (червоний + зелений + синій = red + green + blue – RGB), або також тризональні, але псевдокольорові (зелений + червоний + ближній інфрачервоний = color infrared – CIR) цифрові зображення [3].

Класифікація повнокольорових або псевдокольорових аерознімків виконується на основі відомих тривимірних сигнатур класів шляхом їхнього зіставлення із тривимірною дискретною сигнатурою кожного піксела зображення. Існуючі алгоритми автоматизованої класифікації формують певні кількісні оцінки належності кожного піксела кожному з розглядуваних класів. Для класичних статистичних алгоритмів це імовірності класів або відношення правдоподібності, для інших евристичних алгоритмів – більш-менш обґрунтовані власні міри подібності [4].

Важливою проблемою при проведенні класифікації кольорових аерознімків є забезпечення інваріантності зональних (RGB або CIR) сигнатур класів до небажаних викривлень зареєстрованих оптичних сигналів, наприклад внаслідок варіацій спектральних характеристик об'єктів, стану атмосфери, зміни умов освітленості, тощо. Тому при класифікації багатоспектральних зображень часто використовуються різноманітні нормалізовані зонально-різницеві індекси (normalized band-difference index – NBDI), більш стійкі до адитивних і мультиплікативних завад [5].

Практика вирішення багатьох тематичних задач дистанційного знімання свідчить про більшу інформативність нормалізованих зонально-різницевих індексів у порівнянні із “сирими” зональними сигналами та про можливість переносу NBDI сигнатур класів між знімками, одержаними в різний час і навіть в іншій місцевості [6].

Для кожного RGB або CIR аерознімка можна сформувавши повний набір з трьох NBDI:

$$\begin{aligned} \text{RGB: } \{ B \ G \ R \} &\rightarrow \left\{ \frac{B}{B+G} \ \frac{G}{G+R} \ \frac{R}{B+R} \right\}, \\ \text{CIR: } \{ G \ R \ N \} &\rightarrow \left\{ \frac{G}{G+R} \ \frac{R}{R+N} \ \frac{N}{G+N} \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $B, G, R, N$  – радіометричні значення сигналів у синій, зеленій червоній та ближній інфрачервоній спектральних зонах RGB або CIR аерознімка.

Рис.1 ілюструє можливість перетворення цифрових кольорових аерознімків на повні набори нормалізованих зонально-різницевих індексів згідно (1).

Важливим етапом перед проведенням класифікації є перехід від наявних квазібезперервних спектрів типових об'єктів аерознімання до тривимірних сигналів, що формують кольорове цифрове зображення. Реєстровані RGB сигнали  $E_{\text{RGB}}$  визначаються спектральними відбивними характеристиками об'єктів  $\rho_0(\lambda)$ , спектральним розподілом інтенсивності падаючого випромінювання  $E_0(\lambda)$ , спектральним пропусканням атмосфери  $\tau(\lambda)$  і спектральною чутливістю фотоприймачів  $S_{\text{RGB}}(\lambda)$  у кожному спектральному діапазоні [7]:

$$E_{\text{RGB}} = \int_{\lambda} E_0(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \rho_0(\lambda) \cdot S_{\text{RGB}}(\lambda) d\lambda \quad . \quad (2)$$

Спектральний склад світності Сонця з високою точністю збігається зі світністю абсолютно чорного тіла з максимум на довжині хвилі  $\lambda_0 = 0,47$  мкм і на межі атмосфери Землі описується законом Планка [8]:

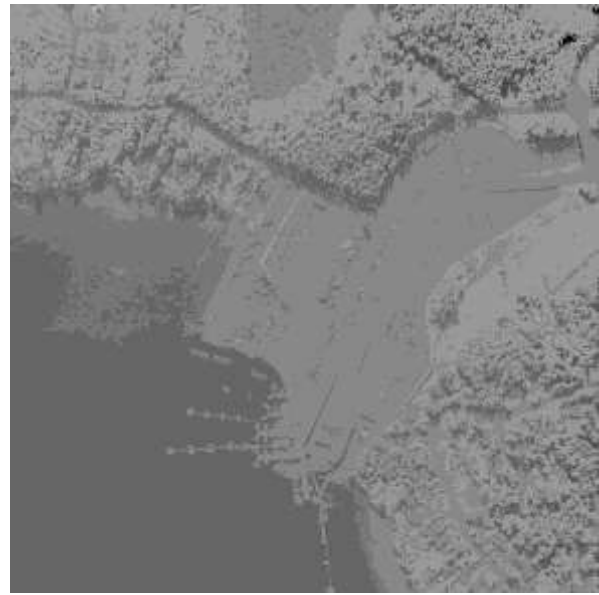
$$E_0(\lambda) = \frac{2phc^2}{\lambda^5 \left( \exp\left(\frac{hcb}{k\lambda\lambda_0}\right) - 1 \right)} \cdot \left( \frac{R_0}{D_0} \right)^2, \quad (3)$$

де  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Вт·с<sup>2</sup> – стала Планка,  $c = 2,998 \cdot 10^5$  км/с – швидкість світла у вакуумі,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт·с<sup>2</sup>/К – стала Больцмана,  $b = 2898$  мкм·К – стала Віна,

$R_0 = 6,96 \cdot 10^7$  км – радіус Сонця,  $D_0 = 1,496 \cdot 10^8$  км – середня відстань від Сонця до Землі.



*a)*



*б)*



*в)*



*г)*

Рис.1. Псевдокольорове подання повних наборів NBDI кольорових аерознімків: *a* – RGB зображення авіаційної цифрової камери Imacon 132С, *б* – кольорово-синтезований набір NBDI зображення *a*), *в* – CIR зображення авіаційної цифрової камери Merrik DACS, *г* – кольорово-синтезований набір NBDI зображення *в*)

Типові спектральні розподіли підінтегральних складових (2) показано на рис.2.

Вхідними даними алгоритму є модель (3) спектральної густини енергетичної освітленості аероландшафта (блок SunRad), спектральне пропускання атмосфери (блок Atm), спектральні чутливості фотоприймачів в кожному спектральному діапазоні реєстрації (блок Sensor) та бібліотека спектрів типових об'єктів класифікації (блок SpecLib). Перед початком обробки за (2) визначаються еталонні

радіометричні сигнали кольорового зображення ( блок Signature ) заданих об'єктів із бібліотечним спектральним відбиттям  $\rho_0(\lambda)$ , та за ними – повний набір нормалізованих зонально- різницевих індексів класів (блок NBDI). В ході обробки

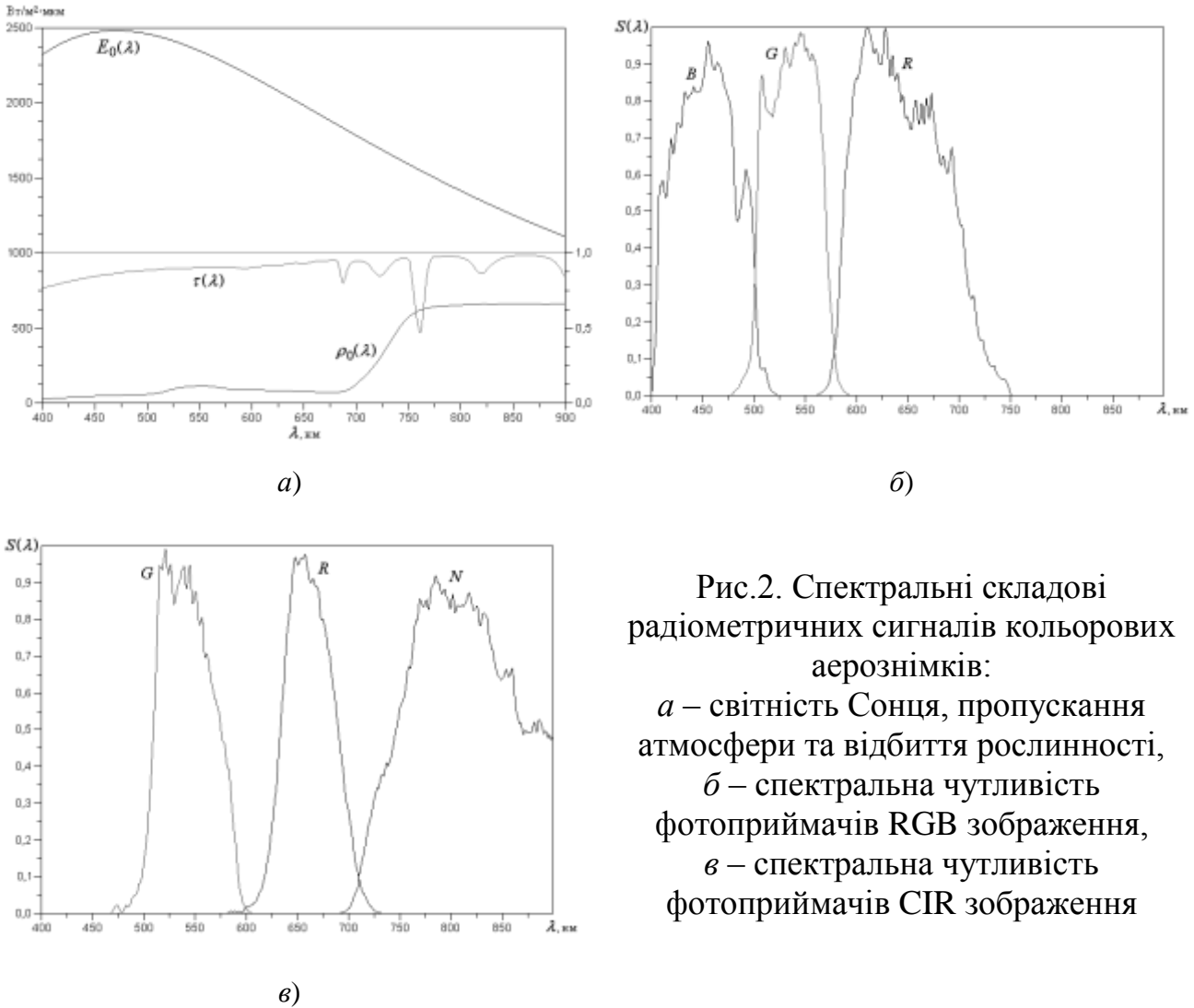


Рис.2. Спектральні складові радіометричних сигналів кольорових аерознімків:  
*a* – світність Сонця, пропускання атмосфери та відбиття рослинності,  
*б* – спектральна чутливість фотоприймачів RGB зображення,  
*в* – спектральна чутливість фотоприймачів CIR зображення

вхідний цифровий аерознімок (блок RGB/CIR) також перетворюється на повний набір нормалізованих зонально-різницевих індексів (блок NBDI) та попіксельно статистично класифікується за еталонними NBDI класів. В результаті одержується піксельна карта класів (блок Land Cover).

Отже, відтепер можливо скласти повний алгоритм класифікації кольорових цифрових аерознімків. Схему цього алгоритму показано на рис.3.

Після того, як визначено еталонні радіометричні сигнали певного класу об'єктів кольорового зображення, стає можливим провести класифікацію кольорового зображення за яким-небудь статистичним алгоритмом на предмет імовірності виявлення цього класу  $P_0$ . Попередні вибіркові дослідження свідчать про незадовільну точність класифікації лучної рослинності за методом максимальної правдоподібності (maximum likelihood – ML) як на повнокольорових RGB аерознімках ( $P_0 \leq 0,24$ ), так й на псевдокольорових CIR аерознімках ( $P_0 \leq 0,63$ ).

Такі результати можуть свідчити про суттєві радіометричні спотворення RGB зображень (можливо, внаслідок додаткової кольорокорекції задля суб'єктивного наближення до натуральних кольорів) та значно менші – CIR зображень [9]. Поряд з тим, застосування повних наборів нормалізованих зонально-різницевих індексів тих же самих кольорових зображень дозволяє декілька покращити точність класифікації

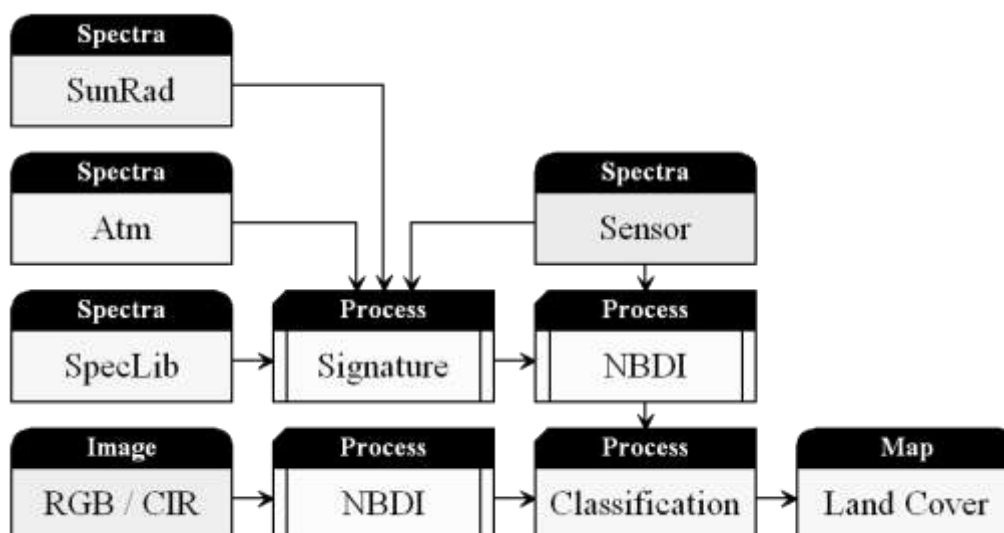


Рис.3. Схема алгоритму класифікації кольорових аерознімків

обох типів – RGB ( $P_0 \leq 0,32$ ) та CIR ( $P_0 \leq 0,76$ ) кольорових аерознімків, що підтверджує висновок про більш високу робастність класифікації на основі NBDI.

Таким чином, запропонований алгоритм робастної класифікації буде корисним для повністю автоматичної чи автоматизованої класифікації повнокольорових та псевдокольорових аерознімків за умови ретельного калібрування аерознімальних цифрових камер. Для ефективного впровадження цього алгоритму в практику аерознімальних робіт потрібні застосування досконалих моделей розповсюдження сонячного випромінювання в атмосфері, лабораторні спектрорадіометричні вимірювання спектральної чутливості фотоприймачів цифрової камери в кожному спектральному діапазоні та попереднє створення представницької бібліотеки прецизійних спектрів типових об'єктів всіх можливих класів сцени аерознімання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Tso B., Mather P.M. Classification Methods for Remotely Sensed Data. – L., N.Y.: Taylor & Francis, 2001. – 352 p.
2. Станкевич С.А. Аналіз принципів технічної реалізації та застосування зарубіжних авіаційних цифрових систем одержання зображень // Збірник наукових праць Наукового центру ВПС України. – Вип.7. – Київ: НЦ ВПС, 2004. – С.232–241.

3. Roth R. Trends in Sensor and Data Fusion // Photogrammetric Week'05 / D. Fritsch, Ed.- Heidelberg: Wichmann Verlag, 2005. – P.253–261.
4. Патрик Э. Основы теории распознавания образов / Пер. с англ.- М.: Советское радио, 1980. – 408 с.
5. Попов М.А., Станкевич С.А., Сахацкий А.И., Козлова А.А. Использование полного набора нормализованных межканальных индексов многоспектральных космических изображений при классификации покрытий ландшафта // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2007. – Т.20(59). – № 1. – С.175-182.
6. Popov M.A., Stankevich S.A., Sakhatsky A.I., Kozlova A.A. Multispectral Imagery Normalized Band-Difference Indexes for Land Cover Classification // Proceedings of Digital Earth Summit on Geoinformatics 2008: Tools for Global Change Research. – Potsdam: Wichmann Verlag, 2008. – P.333–338.
7. Станкевич С.А. Информативность оптических диапазонов дистанционного наблюдения Земли из космоса: практические алгоритмы // Космічна наука і технологія, 2008. – Т.14. – № 2. – С.22-27.
8. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники.- М.: Советское радио, 1978. – 400 с.
9. Гусейнов Г.А., Егоров В.В., Садыков Р.Х. Метрики информационной калибровки при трансформации оптических образов экосистем // Исследование Земли из космоса, 2006. – № 2. – С.1-14.

*Надійшла до редакції 29.10.2010*