

УДК 528.8.04: 551.4

**В. І. Лялько, О. І. Сахацький, З. М. Шпортюк, О. М. Сибірцева**

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

## **КОРИГУВАННЯ ВПЛИВУ АТМОСФЕРИ НА ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНІ ДАНІ СЕНСОРА EO-1 «HYPERION» ПРИ ОБЧИСЛЕННІ ПОЗИЦІЇ ЧЕРВОНОГО КРАЮ**

---

*Досліджено вплив атмосферної корекції даних сенсора «Hyperion» за допомогою методу віднімання темного об'єкта на величину позиції червоного краю спектрів відбиття. Проведено зіставлення REP-зображень, побудованих за даними без атмосферної корекції та після проведення атмосферної корекції з подальшою класифікацією зображень, щоб оцінити, чи поліпшує атмосфера корекція розділення різновидів наземного покриття при картуванні з використанням позиції червоного краю. Встановлено, що використання атмосферно коригованих даних показало збільшення контрастів в значеннях REP, поліпшення розділення різновидів наземного покриття і точності картування.*

---

### **ВСТУП**

Одним із пріоритетних напрямків досліджень в Європі за програмою глобального моніторингу довкілля та безпеки (GMES) є картування та моніторинг землекористування і наземного покриття, зокрема рослинного. Своєчасна і надійна інформація про стан наземного рослинного покриття необхідна як для потреб лісового та сільського господарства, так і для оцінки стану довкілля, яке зазнає неперервних змін через техногенні, соціоекономічні та кліматичні процеси.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) за допомогою супутникових гіперспектральних сенсорів є відповідним інструментом для тривалого моніторингу рослинного покриття величезних за площею територій, таких як Європа, навіть у важкодоступних та небезпечних для життя людини районах (гірські масиви, зона відчуження ЧАЕС).

Однак, щоб повністю реалізувати потенціал супутникових спектральних даних для аналізу змін наземного покриття, необхідно конвертувати вихідні дані сенсора до величин, незалежних від атмосферних умов, тобто до величин назем-

ного відбиття. Така конвертація може бути виконана при атмосферній корекції даних, щоб обчислити співвідношення між спектральною яскравістю і коефіцієнтом відбиття наземного покриття.

У порівнянні з традиційними багатоканальними сенсорами супутникові гіперспектральні сенсори, у яких щонайменше п'ять спектральних каналів припадає на зону червоного краю (670–780 нм), мають найкращий потенціал для дослідження рослинного покриття. Як відомо [12, 14], спектри відбиття рослин в зоні червоного краю характеризуються стрімким зростанням. Швидкість зростання залежить від виду рослинного покриття, що дає можливість використовувати цю властивість для його класифікації. Особливу роль тут відіграє довжина хвилі, на якій швидкість зміни спектру відбиття максимальна. Ця точка називається позицією червоного краю, надалі *REP* (the red edge position) і належить до множини вегетаційних індексів червоного краю, які можна визначати попіксельно за гіперспектральними даними.

За даними наукових досліджень [3–6, 10, 19] *REP* є індикатором стану рослинності і може слугувати показником здоров'я рослинних угруповань. Вегетаційні стреси різної природи, які призводять до зменшення вмісту хлорофілу,

проявляються у спектрах відбиття рослин зсувами *REP* до коротких довжин хвиль — «голубий» зсув. Голубий зсув *REP* — це універсальний відгук на вегетаційний стрес, який може бути спричинений хворобами рослин та несприятливими екологічними умовами.

Зсув *REP* у спектрах відбиття рослинного покриття в довгохвильовому напрямку («червоний» зсув) виникає із збільшенням вмісту хлорофілу в рослинах на різних фенологічних стадіях їхнього розвитку від початку вегетаційного росту до цвітіння. Можливість ідентифікації видів рослинних спільнот за величиною *REP* та зміни *REP* внаслідок геохімічних стресів, забруднення довкілля, пошкодження рослин шкідниками та внаслідок аварій, захворювання, — свідчать про потенційну можливість використання *REP* для аналізу стану рослинного покриття Землі за даними гіперспектральної космозйомки.

Великою перевагою гіперспектральних даних є те, що вони дають можливість попиксельного обчислення *REP* (при наявності відповідної методики) для космознімка конкретної території і побудови *REP*-зображень рослинного покриття цієї території. Класифікація таких зображень дасть можливість виявляти «голубі» та «червоні» зсуви *REP* і таким чином здійснювати аналіз рослинного покриття Землі у регіональному або глобальному масштабах.

Мета даної роботи — дослідження впливу атмосферної корекції спектральних даних сенсора «Hyperion» методом віднімання темного елемента (DOS — Dark Object Subtraction) [7, 11, 16] на величину *REP* за даними гіперспектральної зйомки конкретної території, побудова і використання *REP*-зображень цієї території з подальшою класифікацією наземного покриття і оцінкою результатів класифікації.

Гіперспектральні дані сенсора «Hyperion» використано, щоб дослідити вплив атмосферної корекції методом віднімання темного об'єкта на величину позиції червоного краю спектрів відбиття. Встановлено, що простий метод атмосферної корекції яскравості зображення, який полягає в усуненні дифузного члена, адитивного до складової прямого сонячного освітлення земної поверхні в кожному спектральному ка-

налі сенсора, розширює діапазон значень *REP* і покращує розділення деяких класів, зокрема зникає часткове змішування значень *REP* для водної поверхні і поверхні з рослинним покриттям. Це покращує результати класифікації наземного покриття і може бути використано при автоматизації методів класифікації зображень.

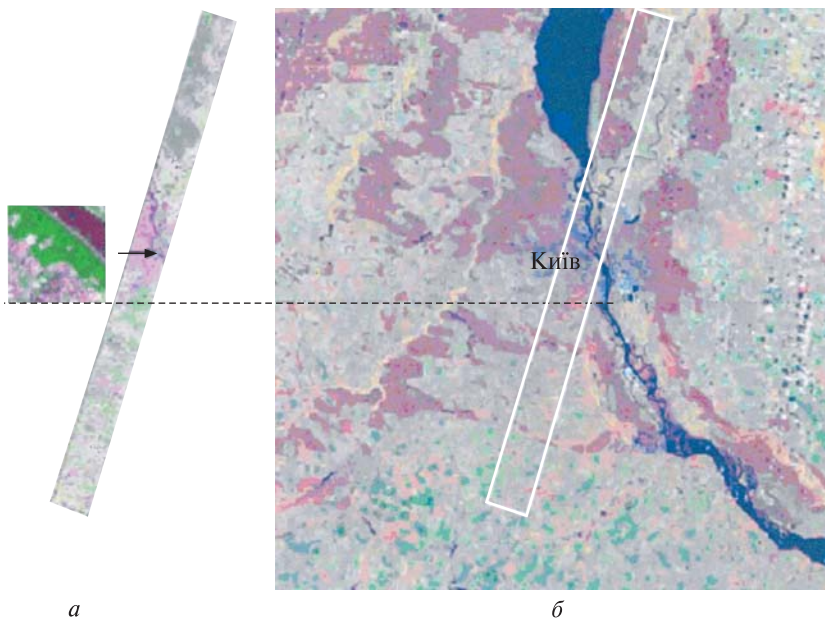
Крім того, усунення адитивної складової спектральної яскравості є необхідною умовою переходу від якісних до кількісних методів класифікації даних космознімання, яка є одним із основних етапів при аналізі змін стану наземного покриття.

## ДЖЕРЕЛО ДАНИХ І МЕТОДИ

«Hyperion» — перший в світі гіперспектральний відеоспектрометр на борту супутника EO-1, запущеного NASA 21 березня 2000 р. [17]. Він має 220 спектральних каналів в діапазоні від 400 до 2500 нм. Спектральна розрізненність його каналів в оптичному та ближньому інфрачервоному (NIR) діапазонах становить 10 нм, а просторова розрізненність — 30 м для всіх каналів. Стандартної сцена зйомки має ширину 7.7 км і довжину 42 км. Висота його орбіти — 705 км, як і в «Landsat-7».

Із запуском на орбіту гіперспектрального супутникового сенсора реальною стала можливість отримання даних дистанційного зондування Землі високої спектральної розрізненності в області червоного краю (660—780 нм) спектрів відбиття рослинного покриття та використання цих даних для класифікації та аналізу змін стану рослинності на основі попиксельного обчислення позиції червоного краю *REP* та нормалізованого різницевого вегетаційного індексу *NDVI*. Побудова зображень цих індексів за космознімком конкретної території відкриває нові можливості для розрізнення, ідентифікації, картування, моніторингу та аналізу змін стану рослинного покриття Землі.

Основою для методики аналізу стану рослинного покриття через дослідження індексів червоного краю його спектрів відбиття є спектральні властивості рослинного покриття в цій області, встановлені на основі даних лабораторних,



**Рис. 1.** Синтезовані зображення в межах Київського регіону: *а* — знімок EO-1 «Hyperion» (14.09.2002 р., синтез каналів 20, 30 та 40), *б* — знімок «Landsat ETM» (14.09.2001, синтез каналів 2, 4, 5). Білий прямокутник на знімку «Landsat ETM» вказує на розташування знімка «Hyperion». Фрагмент знімка EO-1 «Hyperion» вказує на ділянку детальних досліджень в межах загальної сцени

польових наземних, аерогіперспектральних та супутникових зйомок [1, 2, 5, 6, 9, 15, 20, 22, 23].

Зображення EO-1 «Hyperion» від 14 вересня 2002 р., використане в цьому дослідженні, має номер EO1H1810252002244110PZ. Дані рівня 1 конвертовано до формату ERDAS Imagine за допомогою програми ENVI. На рис. 1 наведено зображення «Hyperion» досліджуваної території Києва та області. Ширина сцени приблизно 7.5 км, довжина — 94 км. Досліджувана територія розташована вздовж смуги, центральна лінія якої на півдні починається з точки 30°21'35" с. д. та 50°01'05" пн. ш., і закінчується на півночі в точці 30°43'00" с. д. та 50°50'20" пн. ш. У межах сцени для дослідження відбивних характеристик та вегетаційних індексів певних видів земного покриву виділено квадратну ділянку (рис. 1, *а*) для аналізу діапазонів змін вегетаційних індексів за даними «Hyperion» для основних різновидів рослинного покриву та земної поверхні.

Щоб перейти від даних рівня 1R ( радіометрично кориговані за показами сенсора — the radiance at sensor) до коефіцієнтів відбиття земної поверхні, використаємо метод віднімання яскравості найтемнішого об'єкта сцени [7, 11]. Цей метод значно спрощує процедуру атмосферної корекції. Він не бере до уваги члени розсіяної і спадної іррадіації [16], залежність оптич-

ної товщини атмосфери від довжини хвилі, кут спостереження сенсора і зенітний кут Сонця на час знімання. Але, як показано в роботі [11], навіть така спрощена атмосферна корекція гіперспектральних даних аеровідеоспектрометра CASI дозволяє покращити результати літологічного картування, використовуючи тільки дані сцени.

В нашому дослідженні ми не розглядаємо будь-які моделі атмосферної корекції чи їхнє можливе покращення. Наша мета — в'яснити вплив спрощеного методу атмосферної корекції (DOS) на величину REP та нормалізованих різницевих індексів.

Згідно з моделлю Ламберта [8, 18, 21] освітлення поверхні тест-ділянки формується в основному із двох складових — прямого та дифузного сонячного світла. Дифузна складова за певних умов може бути потрактована як сталий адитивний член до прямого сонячного освітлення [7].

Якщо у сцені зображення є темні (затінені) піксели, на яких вклад прямого сонячного освітлення близький до нуля, їх можна використати для атмосферної корекції зображення. В методі DOS значення спектральної яскравості найтемнішого об'єкта сцени, практично мінімальне значення показів сенсора  $DN_{\min}$  в кожному каналі приймається за величину адитивної

дифузної складової спектру, яка віднімається від показів сенсора в кожному каналі для кожного пікселя сцени.

Дослідимо вплив спрощеного методу атмосферної корекції гіперспектральних даних сенсора «Hyperion» на величину  $REP$  за наявними даними гіперспектральної зйомки Києва та області від 14 вересня 2002 р. За найтемніший об'єкт сцени вибрано водну поверхню Дніпра.

На рис 2, а наведено зразки спектрів основних класів земного покриття тест-ділянки 3. Зауважимо, що по вертикальній осі відкладено значення  $DN$  спектральної яскравості — некалібровані покази сенсора. Візуальне зіставлення спектрів з пікселів, вибраних як навчальні дані, показує значні варіації серед зразків. Ці варіації є, зокрема, важливими і значними в каналах області червоного краю спектру між мінімумом абсорбції (приблизно 670 нм) та максимумом в NIR (приблизно 800 нм). Ця область спектру є найбільш важливою при дослідженні рослинного покриття. Особливо яскраво різницю в спектрах можна побачити, якщо розглянути значення спектральної яскравості в каналах зони червоного краю (670—760 нм) та NIR (рис. 2, б).

Із рис. 2 видно, що водна поверхня має найнижчу яскравість в області червоного краю. Згідно з методом віднімання темного об'єкта [7, 18] атмосферна корекція даних рівня 1 в оптичному та NIR-діапазоні сенсора «Hyperion» здійснюється для кожного пікселя за формулами

$$L_{ik} = L_i - L_{i\min} = \frac{DN_i - DN_{i\min}}{40}. \quad (1)$$

Тут  $L_{ik}$ ,  $L_{i\min}$  — кориговані та некориговані значення щільності спектральної яскравості ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ) пікселя в  $i$ -му каналі,  $L_{i\min}$  — мінімальне значення в  $i$ -му каналі,  $DN_i$  — радіометрично некалібровані значення щільності спектральної яскравості пікселя в  $i$ -му каналі (за показами сенсора),  $DN_{i\min}$  — мінімальні значення в  $i$ -му каналі за показами сенсора.

Коефіцієнт  $R_{\text{пн}}$  планетарного відбиття (поверхня + атмосфера) визначається за формулою [13]

$$R_{\text{пн}} = \frac{\pi L_i d^2}{E_{si} \cos \theta}, \quad (2)$$

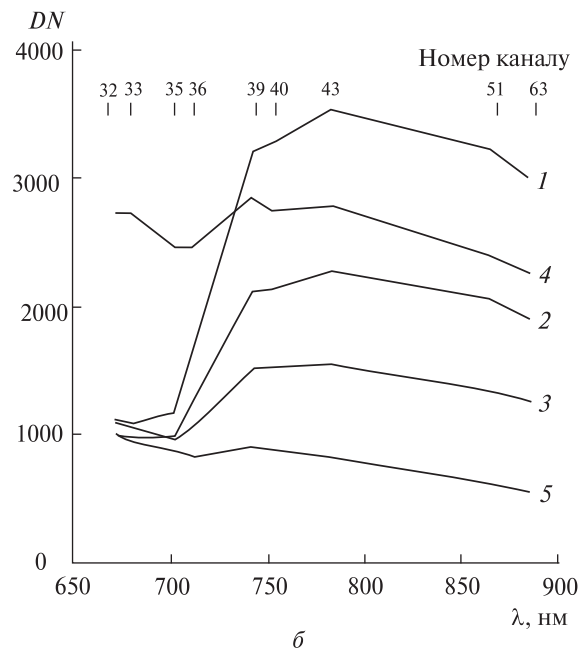
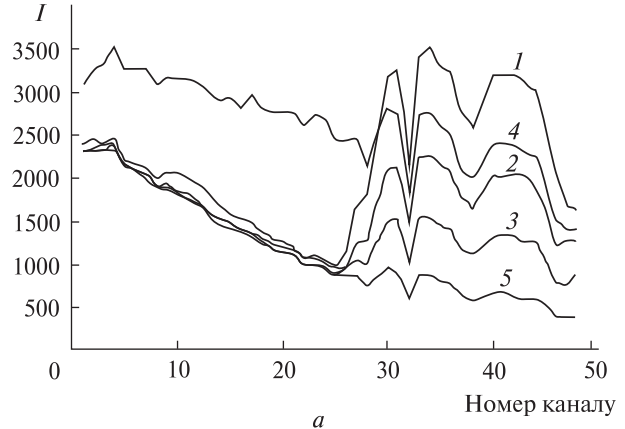


Рис. 2. Спектральні профілі основних класів земного покриття (а) та фрагмент варіацій  $DN$ -спектрів основних класів земного покриття в каналах областей червоного краю та NIR (б): 1 — трава, 2 — деревостани паркової зони, 3 — дорога, 4 — будівля, 5 — водна поверхня р. Дніпро

де  $E_{si}$  — сонячний потік ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ) в  $i$ -му каналі,  $\theta$  — зенітний кут Сонця,  $d$  — віддаль Земля — Сонце в астрономічних одиницях. Відповідно коефіцієнт відбиття лише земною поверхнею визначається формулою

$$R_i = \frac{\pi L_{ik} d^2}{E_{si} \cos \theta}. \quad (3)$$



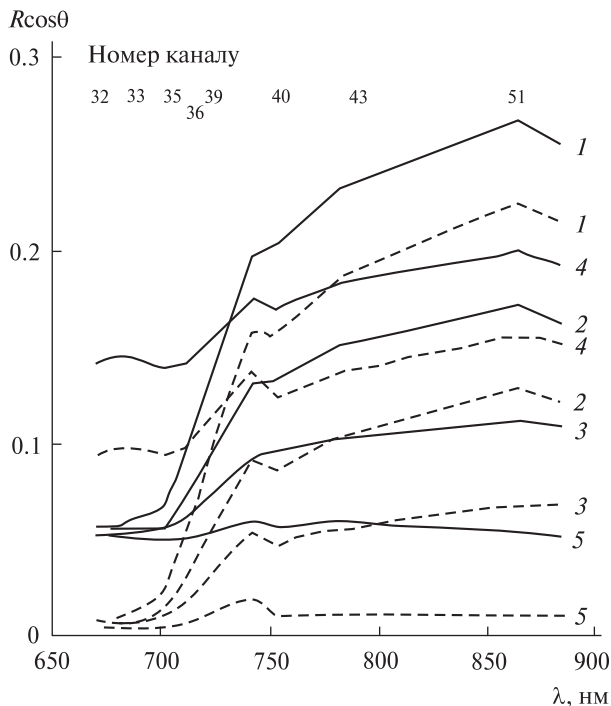


Рис. 3. Коефіцієнти відбиття основних класів наземного покриття (див. рис. 2): суцільні лінії —  $R_{in}$ , штрихові —  $R_i$

Таблиця 1. Канали сенсора «Hyperion», які використовуються для обчислення індексів червоного краю

Номер каналу сенсора «Hyperion»	$\lambda_0$ , нм	Індекси червоного краю
32	671.02	$REP = 701.55 + 40.7 \frac{\bar{R} - R_{35}}{R_{39} - R_{35}}$
35	701.55	
39	742.25	$\bar{R} = \frac{R_{32} + R_{43}}{2}$
43	782.95	
32	671.02	$NDVI = \frac{R_{51} - R_{32}}{R_{51} + R_{32}}$
51	864.35	
36	711.72	$mNDVI = \frac{R_{40} - R_{36}}{R_{40} + R_{36}}$
40	752.43	

Значення  $E_{si}$  для каналів сенсора «Hyperion» брались із сайту <http://eo1.vsgs.gov/HyperionIrradiances.htm>.

Значення коефіцієнтів планетарного та наземного відбиття п'яти основних класів земного покриття (див. рис. 2), обчислених за формулами (2) і (3), наведені на рис. 3. Видно, що атмосфер-

на корекція змінює абсолютні значення коефіцієнтів в залежності від довжини хвилі, що призводить до зміни нахилу спектральної кривої наземного відбиття в порівнянні з нахилом кривої планетарного відбиття. Крім того, коефіцієнти наземного відбиття наведених на рис. 2 різновидів наземного покриття мають менші значення в порівнянні з відповідними коефіцієнтами планетарного відбиття.

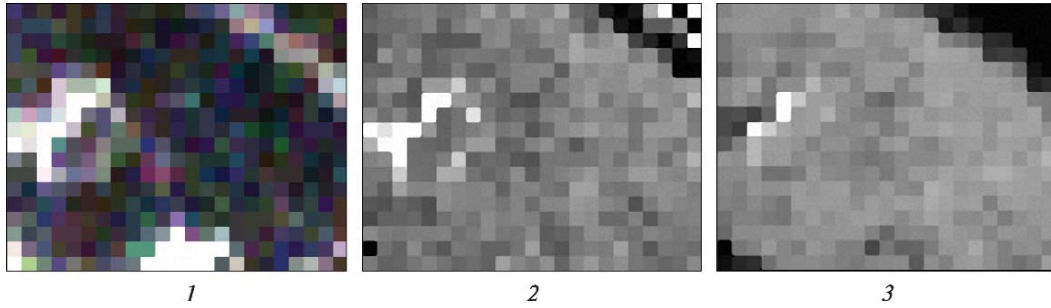
### ПОБУДОВА $REP$ -, $NDVI$ - ТА $mNDVI$ -ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДАНИМИ СЕНСОРА «HYPERION»

Побудову  $REP$ -,  $NDVI$ - та  $mNDVI$ -зображень [1, 2] фрагмента розміром  $23 \times 18$  пікселів зображення ділянки, наведеного на рис. 4, здійснено на основі попиксельного обчислення індексів за формулами, наведеними в табл. 1. Обчислення проведено для двох множин даних: для коефіцієнтів планетарного відбиття (без атмосферної корекції) та коефіцієнтів наземного відбиття, отриманих шляхом атмосферної корекції даних методом DOS.

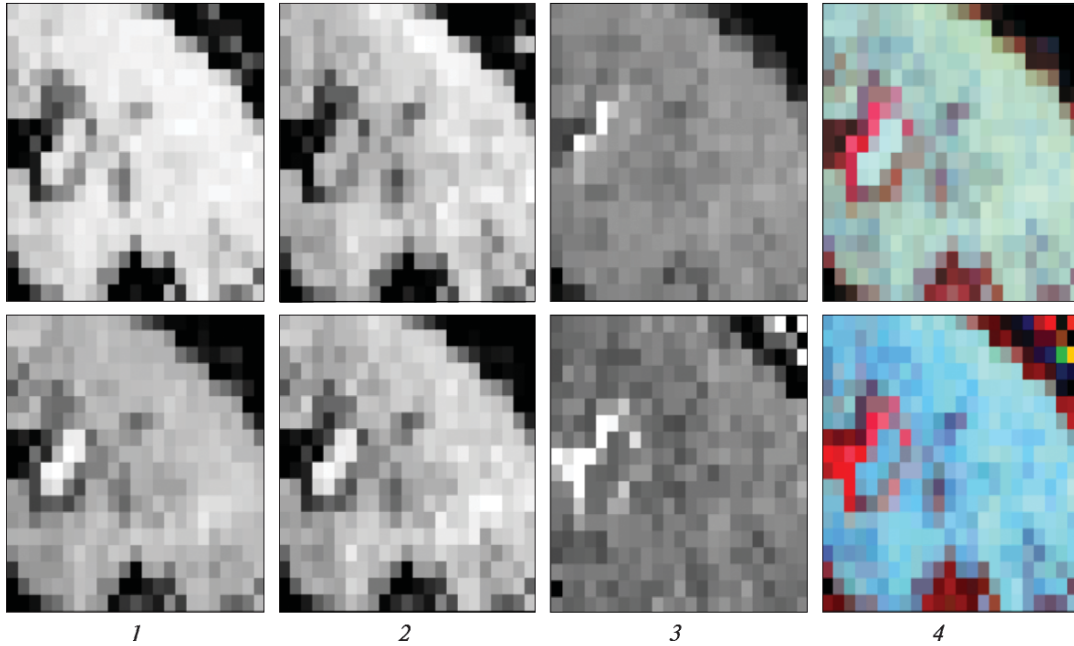
Зображення  $REP$ -,  $NDVI$ - та  $mNDVI$ -індексів фрагмента ділянки за значеннями коефіцієнтів наземного відбиття та синтезоване ( $REP$ ,  $NDVI$  та  $mNDVI$ ) зображення, яке використовується при класифікації земного покриття, наведено на рис. 5 (верхній ряд). На рис. 5 (нижній ряд) наведено аналогічні зображення, побудовані за значеннями коефіцієнтів планетарного відбиття.

В табл. 2 наведено значення вегетаційних індексів червоного краю, обчислених за коефіцієнтами планетарного відбиття (без атмосферної корекції даних) та наземного відбиття (з атмосферною корекцією даних) для зразків спектрів основних класів наземного покриття, зображених на рис. 2.

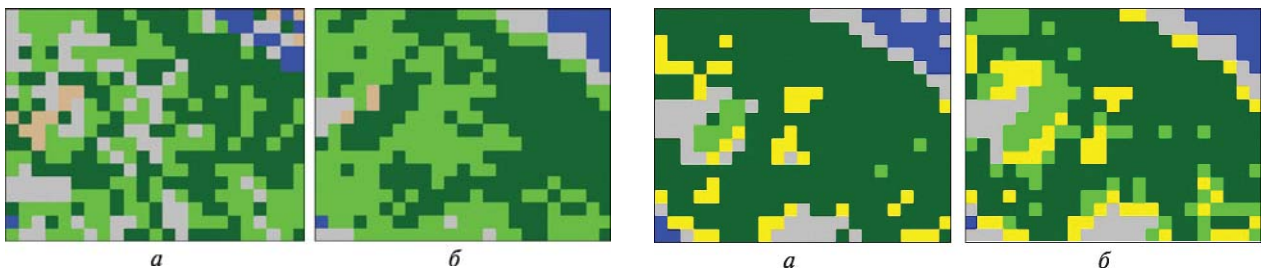
Зіставлення коригованих та не коригованих значень  $REP$  показало зменшення значень  $REP$  для трави, деревостанів паркової зони, водної поверхні, будівель і дорогих у порівнянні з відповідними значеннями, обчисленими за коефіцієнтами планетарного відбиття. Некориговані значення різницевого вегетаційного індексу  $mNDVI$  і  $NDVI$  мають однакові тенденції і добру контрастність для наведених класів наземного покриття: найменші значення — для води, най-



**Рис. 4.** Зображення фрагмента ділянки із 414 пікселів (див. рис.1): 1 — у синтезованих кольорах, 2 — *REP*-зображення, не скориговані за атмосферний вплив, 3 — зображення за атмосферно коригованими даними (метод DOS)



**Рис. 5.** Зображення індексів фрагмента ділянки 3: 1 — *NDVI*-зображення, 2 — *mNDVI*-зображення, 3 — *REP*-зображення, 4 — синтезоване зображення з використанням *NDVI*-, *mNDVI*- та *REP*-зображень. Верхній ряд — за коригованими даними, нижній ряд — за некоригованими даними



**Рис. 6.** Класифіковані *REP*-зображення фрагмента ділянки із 414 пікселів: *a* — за некоригованими даними, *б* — за даними, коригованими методом DOS. Умовні позначення: деревостани паркової зони — темно-зелений, трав'яниста рослинність — зелений, техногенні споруди та деревостани паркової зони — сірий, техногенні споруди — коричневий, водна поверхня — синій

**Рис. 7.** Результати класифікації тришарових зображень фрагмента ділянки із 414 пікселів з використанням *NDVI*-, *mNDVI*- та *REP*-зображень: *a* — некориговані дані; *б* — DOS-кориговані дані. Умовні позначення: світло-зелений — переважно трав'яниста рослинність, темно-зелений — переважно листяна деревинна рослинність, жовтий — змішані пікселі, які включають техногенні споруди та деревинну рослинність, сірий — техногенні споруди (будівлі та дороги і площі з асфальтовим та бетонним покриттям), синій — водна поверхня

більші — для трави. Обчислені за коригованими даними значення *NDVI* змінюють свою тенденцію: найменше значення ( $NDVI = 0.255$ ) — для будівлі, а найбільше ( $NDVI = 0.946$ ) — для деревостанів паркової зони, а не для трави. Щодо контрастів значень *NDVI* та *mNDVI* для різновидів наземного покриву то атмосферна корекція зменшила їх для трави і деревостанів порівняно із не коригованими відповідними значеннями.

У табл. 3 наведено значення *REP* для п'яти основних класів земного покриву, вибраних за наземними даними для фрагмента із 414 пікселів (рис. 4) зображення дослідної ділянки, на основі даних, обчислених для побудови *REP*-зображень за атмосферно-коригованими і не коригованими даними (фрагменти 3 на рис. 5).

Видно, що кориговані середні значення *REP* для різних класів покриву сильно відрізняються: для трави  $\overline{REP} = 724.45$  нм, для води  $\overline{REP} = 708.00$  нм, але некориговані значення майже збігаються.

Таким чином, наведений спрощений метод атмосферної корекції даних сенсора «Hyperion»,

який не враховує залежність оптичної товщини атмосфери від довжини хвилі, збільшує контрасти *REP* між різновидами покриву, зменшує перекриття класів, що визначаються за значеннями *REP*, і покращує їхню класифікацію.

### РЕЗУЛЬТАТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ *REP*-ЗОБРАЖЕННЯ ТЕСТ-ДІЛЯНКИ

Класифікацію наведених на рис. 4 *REP*-зображень фрагмента ділянки із 414 пікселів здійснено методом класифікації без навчання за допомогою програмних продуктів ERDAS IMAGINE. Класифіковані *REP*-зображення фрагмента наведено на рис. 6.

За результатами класифікації проведено зіставлення значень *REP* для п'яти основних класів земного покриву: 1 — деревостани паркової зони, 2 — трав'яниста рослинність, 3 — змішані пікселі — техногенні споруди та деревостани паркової зони, 4 — техногенні споруди, 5 — водна поверхня річки Дніпро.

У табл. 4 наведено значення *REP* для п'яти основних класів земного покриву, вибраних за на-

Таблиця 2. Кориговані та некориговані значення вегетаційних індексів основних класів наземного покриву, наведених на рис. 3

Клас покриву	<i>REP</i> , нм		<i>mNDVI</i>		<i>NDVI</i>	
	некориговані	кориговані	некориговані	кориговані	некориговані	кориговані
1. Трава	726.10	724.34	0.358	0.497	0.646	0.920
2. Деревостани паркової зони	726.26	723.28	0.290	0.487	0.535	0.946
3. Дорога	727.33	721.55	0.219	0.467	0.329	0.791
4. Будівля	727.78	721.80	0.093	0.115	0.170	0.255
5. Водна поверхня р. Дніпро	725.28	709.56	0.068	0.216	0.022	0.514

Таблиця 3. Значення *REP* для різних класів земного покриву на ділянці 414 пікселів за атмосферно коригованими і не коригованими даними сенсора «Hyperion»

Клас покриву	<i>REP</i> <sub>min</sub> , нм	<i>REP</i> <sub>max</sub> , нм	$\overline{REP}$ , нм	<i>REP</i> <sub>min</sub> , нм	<i>REP</i> <sub>max</sub> , нм	$\overline{REP}$ , нм
	некориговані			кориговані		
1. Трава	725.47	731.54	726.92	723.49	727.04	724.45
2. Деревостани паркової зони	719.94	728.97	726.92	716.30	726.40	723.44
3. Дорога	718.24	745.80	728.10	709.34	737.37	721.68
4. Будівля	720.35	727.78	726.09	711.66	723.04	719.99
5. Водна поверхня р. Дніпро	717.30	739.84	724.99	696.42	717.00	708.00

земними даними для фрагмента із 414 пікселів (рис. 4, 1) зображення дослідної ділянки, на основі даних, обчислених для побудови *REP*-зображень за некоригованими (рис. 4, 3) і коригованими методом DOS (рис. 4, 1) даними.

### РЕЗУЛЬТАТИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТРИШАРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДОМ МІНІМАЛЬНОЇ ВІДДАЛІ ДО СЕРЕДНЬОГО

Результати класифікації тришарового зображення методом мінімальної віддалі до середнього показують кращу класифікацію трав'янистої

Таблиця 4. Значення *REP* для різних класів земного покриття на ділянці 414 пікселів за атмосферно коригованими і не коригованими даними сенсора «Hyperion»

Клас покриття	<i>REP</i> <sub>min'</sub> НМ	<i>REP</i> <sub>max'</sub> НМ	<i>REP</i> <sub>min'</sub> НМ	<i>REP</i> <sub>max'</sub> НМ
	некориговані		DOS-кориговані	
1. Деревостани паркової зони	726.70	728.50	723.50	727.40
2. Трав'яниста рослинність	725.50	726.50	720.40	723.40
3. Техногенні споруди та деревостани паркової зони	723.50	725.50	712.90	719.90
4. Техногенні споруди	731.00	745.80	732.10	737.40
5. Водна поверхня	713.30	723.00	696.40	711.50

Таблиця 5. Зіставлення результатів класифікації з використанням значень *REP* для різних класів земного покриття за атмосферно коригованими і не коригованими даними сенсора «Hyperion» на ділянці 414 пікселів (площа 37.26 га)

Клас покриття	Доля площі, %		
	для некоригованих значень	для DOS-коригованих значень	для наземних даних
1. Деревостани паркової зони	39.9	45.7	77.8
2. Трав'яниста рослинність	35.0	43.2	
3. Техногенні споруди та деревостани паркової зони	18.8	6.5	8.7
4. Техногенні споруди	2.9	0.7	3.3
5. Водна поверхня	3.1	3.6	4.8

рослинності, переважної листяної деревинної рослинності та змішаних пікселів (розріджена рослинність) (рис. 7).

Зауважимо, що такий же метод використано нами в роботах [1, 2] для класифікації наземного покриття з комплексним використанням індексів червоного краю та водних індексів, обчислених за коефіцієнтами планетарного відбиття.

В результаті проведених досліджень вперше на основі апробації на тест-ділянках встановлено можливість автоматизованої класифікації наземного покриття на основі *REP*-зображень, побудованих за атмосферно коригованими методом DOS гіперспектральними даними сенсора «Hyperion», що може бути використано для визначення змін при моніторингу довкілля за різночасовими даними космознімання.

Кращі результати автоматизованої класифікації одержано при використанні атмосферної корекції методом DOS. Метод DOS дає корекцію першого порядку, вона має кращі результати при обчисленні *REP*, ніж без атмосферної корекції взагалі.

Запропонований метод класифікації тришарових зображень методом мінімальної віддалі до середнього показує кращу, ніж у роботі [2], класифікацію наземного покриття для розрідженої рослинності, але потребує дальших досліджень для інших типів наземного покриття.

### ВИСНОВКИ

Досліджено вплив атмосферної корекції гіперспектральних даних сенсора «Hyperion» за допомогою методу віднімання темного об'єкта на позицію червоного краю спектрів відбиття *REP*, нормалізований вегетаційний індекс *NDVI* та його модифікацію *mNDVI*. Апробацію методу здійснено на тест-ділянці розміром 23×18 пікселів, для якої побудовано *REP*-, *NDVI*- та *mNDVI*-зображення на основі коефіцієнтів відбиття некоригованих зображень та зображень, побудованих за коригованими за атмосферний вплив даними, показує значне покращення контрастів *REP* між різновидами наземного покриття та зменшення перекриття класів, визначених за значеннями *REP*.



Запропонований спрощений метод атмосферної корекції зменшує значення *REP* та розширює їхній діапазон порівняно із значеннями *REP* по нескоректованих даних. На основі проведених досліджень встановлено, що атмосферна корекція необхідна і повинна бути першорядним кроком при обробленні гіперспектральних даних сенсора «Нурегіон» для обчислення коефіцієнтів наземного відбиття при класифікації та визначенні змін рослинного покриву.

Розроблення методики точнішої атмосферної корекції із врахуванням атмосферного розсіяння та залежності оптичної товщі атмосфери від довжини хвилі може значно покращити контрасти в значеннях *REP* між різновидами наземного покриву та точність картування і потребує подальшого дослідження, як і її вплив на величини *NDVI* та *mNDVI*.

1. Лялько В. І., Сахацький О. І., Шпортюк З. М., Сибірцева О. М. Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Нурегіон» для класифікації наземного покриву // Тез. доп. 7-ї Укр. конф. з космічних досліджень, НЦУВКЗ, Євпаторія, 3–8 вересня 2007 р. — Київ: Ін-т косміч. досліджень НАНУ—НКАУ, 2007. — С. 176.
2. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І., Сибірцева О. М. Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Нурегіон» для класифікації земного покриву // Космічна наука і технологія. — 2008. — **14**, № 3. — С. 55–68.
3. Baret F., Jacquemoud S., Guyot G., Leprieux C. Modeled Analysis of the Biophysical Nature of Spectral Shifts and Comparison with Information Content of Broad Bands // Remote Sens. Environ. — 1992. — **41**, N 2/3. — P. 133–142.
4. Buschmann C. Fernerkundung von Pflanzen // Naturwissenschaften. — 1993. — **80**. — S. 439–453.
5. Buschmann C., Nagel E. Reflexionsspektren von Blättern und Nadeln als Basis für die physiologische Beurteilung von Baumschaden. PEF-Report Nr. 90. Karlsruhe: Kernforschungszentrum, 1992. — 165 s.
6. Buschmann C., Nagel E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for the remote sensing of vegetation // Int. J. Remote Sens. — 1993. — **14**. — P. 711–722.
7. Chavez P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data // Remote Sens. Environ. — **24**. — P. 459–479.
8. Cheng A. F., Dominique D. L. Radiative transfer models for light scattering from planetary surfaces // J. Geophys. Res. — 2000. — **105**. — P. 9477–9482.
9. Clevers J., Bartholomeus H., Múcher C., de Wit A. Land cover classification with the Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) // New Strategies for European Remote Sensing / Ed. by Oluić — Rotterdam: Millpress, 2005. — P. 687–694.
10. Collins W., Chang S.-H., Raines G., et al. Airborne Biogeophysical Mapping of Hidden Mineral Deposits // Economic Geol. — 1983. — **4**, N 78. — P. 737–749.
11. Feng J., Rivard B., Sánchez – Azofeifa A. The topographic normalization of hyperspectral data: implications for the selection of spectral end members and lithologic mapping // Remote Sens. Environ. — 2003. — **85**. — P. 221–231.
12. Goetz A., Rock B., Rowan L. Remote Sensing for Exploration: An Overview // Economic Geol. — 1983. — **78**, N 4. — P. 573–590.
13. Griffin M. K., Hsu S. M., Burke H. K., et al. Examples of EO-1 Hyperion Data Analysis // Lincoln Laboratory J. — 2005. — **15**, N 2. — P. 271–296.
14. Horler D. N. H., Dockray M., Barber J. The red edge of plant leaf reflectance // Int. J. Remote Sens. — 1983. — **4**. — P. 273–288.
15. Lin Li, Susan L. Ustin, Mui Lay. Application of AVIRIS data in detection of oil-induced vegetation stress and cover change at Jornada, New Mexico // Remote Sens. Environ. — 2004. — **94**. — P. 1–16.
16. Moran M. S., Jackson P. D., Slater P. N., Teillet P. M. Evaluation of Simplified Procedures for Retrieval of Land Surface Reflectance Factor from Satellite Sensor Output // Remote Sens. Environ. — 1992. — **41**. — P. 169–184.
17. Pearlman, J. S, Barry P. S, Segal C. C., et al. Hyperion, a Space Borne Imaging Spectrometer // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2003. — **41**, N 6. — P. 1160–1173.
18. Pons X., Solé-Sugranes L. A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data // Remote Sens. Environ. — 1994. — **48**, N 2. — P. 191–203.
19. Rock B. N., Hoshizaki T., Miller J. R. Comparison of the in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline // Remote Sens. Environ. — 1988. — **24**. — P. 109–127.
20. Shportyuk Z. M., Sakhatsky A. I., Sibirtseva O. N. Land cover classification in Ukrainian Carpathians using the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index and Red Edge

- Position from Envisat Meris data // Proc. of Mid-Term Symposium ISPRS» Remote Sensing: From Pixels to Processes», Enschede, the Netherlands, 8–11 May 2006.
21. Yang C., Vidal A. Combination of digital elevation models with SPOT-1 HRV multispectral imagery for reflectance factor mapping // Remote Sens. Environ. — 1990. — **32**. — P. 35–45.
  22. Zarco-Tejada P. J., Miller J. R., et. al. Optical indices as bioindicators of forest condition from hyperspectral CASI data // Proc. 19<sup>th</sup> Symp. European Association of Remote Sens. Laboratories (EARSeL). — Valladolid (Spain), 1999.
  23. Zarco-Tejada P. J., Miller J. R. Land cover mapping of BOREAS using red edge spectral parameters from CASI imagery // J. Geophys. Res. — 1999. — **104D**, N 22. — P. 27921–27933.

*Надійшла до редакції 04.03.09*

*V. I. Lyalko, O. I. Sakhatsky,  
Z. M. Shportyuk, O. M. Sibirtseva*

#### CORRECTION OF ATMOSPHERIC INFLUENCE ON HYPERSPECTRAL EO-1 HYPERION DATA FOR THE RED EDGE POSITION ESTIMATION

We investigated the influence of atmospheric correction of the Hyperion data using dark object subtraction on the Red Edge Position (REP) of spectral reflectance. The comparison of REP-images which were constructed without atmospheric correction and after it was made with the application of images classification to estimate the improvement of accuracy of land cover mapping with the use of the Red Edge Position. It is found that the atmospheric correction of satellite data shows the increase of the contrasts of REP values and the improvement of land cover mapping accuracy by classification.