

УДК 528.88.04:551.4

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

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

**Застосування методу топографічної корекції  
даних багатозональних космознімків  
для класифікації лісового покриву  
гірських територій**

*Надійшла до редакції 27.06.03*

Розроблено новий метод топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій. Метод тестовано при класифікації лісів гірських районів Західного Саяну (Сибір) за даними сенсора ETM<sup>+</sup> супутника «Landsat-7». Показано, що топографічна корекція значно поліпшує результати класифікації.

При дистанційному супутниковому зондуванні Землі в цифрових зображеннях гірських територій виникають радіометричні спотворення, спричинені впливом топографічних ефектів. Топографічні ефекти в даних дистанційного зондування є результатом різниці в освітленні сонцем гірських схилів з різними кутами нахилу та різною орієнтацією відносно сонячних променів. Вони є причиною варіації яскравості, що утруднює тематичну інтерпретацію даних, зокрема класифікацію лісів за даними ДЗ, оскільки яскравісні характеристики лісового покриву одного і того ж класу на протилежних гірських схилах можуть істотно відрізнятися через різницю в освітленні сонячними променями. Тому при дослідженні стану лісового покриву гірських територій за даними багатозональної космозйомки виникає необхідність топографічної корекції цифрових даних на піксельному рівні, через те що нахил і орієнтація гірського схилу можуть істотно змінюватися при переході від одного піксела зображення до іншого.

© В. І. Лялько, З. М. Шпортьюк,  
О. І. Сахацький, О. М. Сибірцева, 2003

#### **МЕТОД ТОПОГРАФІЧНОЇ КОРЕНЦІЇ**

Нами розроблено метод корекції топографічних ефектів в даних космозйомки з використанням цифрової моделі рельєфу, за допомогою якого вдається зменшити різницю значень яскравостей пікселів зображення, спричинену різними умовами сонячного освітлення в залежності від рельєфу. Розроблений метод топографічної корекції ґрунтуються на моделі падаючої сонячної радіації для довільної площини Кондратьєва [1] і на моделі відбиття Ламберта [8], в якій вважається, що падаюча сонячна радіація відбивається однаково у всіх напрямках, і що зміни у відбитті спричинені кількістю падаючої сонячної радіації.

Використання математичної моделі рельєфу або її часткової реалізації — цифрової моделі рельєфу, побудованої з відповідною для конкретного космознімка просторовою розрізнювальною здатністю, дозволяє [2—6, 8] обчислити для кожного піксела космознімка гірської території куті нахилу і ази-

мут поверхні, а також кут падіння сонячних променів. Визначення цих кутів необхідне для проведення радіометричної корекції цифрових даних космозйомки [2—6, 8].

Якщо класифікаційна процедура побудована на статистичному аналізі цифрових значень яскравостей пікселів зображення, зареєстрованих сенсором, без жодної корекції об'єкта освітлення, то спектральні класи, отримані внаслідок такої класифікаційної процедури, не відповідають [5] відмінностям в рослинному покриві гірської території, а лише відмінностям освітлення пікселів. Тому для класифікації рослинності на гірських територіях необхідно робити корекцію цифрових даних космозйомки із врахуванням рельєфу.

У працях [3, 4] наведено методи топографічної корекції даних космозйомки, згідно з якими корекція спостережених цифрових значень яскравостей DN для кожного піксела зображені у видимому та БІЧ-діапазонах здійснюється за формулою

$$DN^* = k \cdot DN, \quad (1)$$

де  $DN^*$  — відкоректоване значення яскравості,  $k$  — коефіцієнт корекції.

У роботі [3] коефіцієнт корекції визначався за формулою

$$k = \frac{1}{\cos\alpha}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  — кут падіння сонячного променя на елемент земної поверхні. Але, як відзначено в [3, 4], застосування цього методу приводить до явища «перекорекції», що не покращує класифікацію. Тому фінськими дослідниками [4] запропоновано обчислювати коефіцієнт корекції за формулою

$$k = \frac{1}{(\cos\alpha)^r}, \quad (3)$$

де  $0 < r < 1$  — параметр, який потрібно визначати емпіричним шляхом за даними наземних спостережень. Зауважимо, що для освітлених пікселів завжди  $1 \geq \cos\alpha > 0$ , тому у випадку (1) і (3) коефіцієнт корекції  $k \geq 1$ . Очевидно, що така корекція не може в принципі зменшити спостережені значення яскравості. Крім того, відбувається зміна спостережених значень яскравості навіть для тих пікселів зображення, які відповідають елементам плоскої поверхні Землі, бо у цьому випадку  $\alpha = \Theta_s$ , де  $\Theta_s$  — зенітна відстань Сонця, і  $k > 1$ .

На відміну від наведених вище методів, нами пропонується метод топографічної корекції, згідно з яким коефіцієнт корекції для кожного піксела зображення обчислюється за формулою

$$k = \frac{\cos\Theta_s}{\cos\alpha}. \quad (4)$$

Очевидно, що така корекція цифрових показів яскравостей пікселів зводить ці значення до однакових умов освітлення в горизонтальній площині.

Дійсно, якщо земна поверхня горизонтальна, то згідно з (4)  $k = 1$ . Враховуючи, що, згідно з [2] для освітлених гірських схилів, звернених до Сонця,  $k < 1$ , а для протилежних схилів  $k > 1$ , запропонований нами метод корекції зменшує значення яскравостей пікселів зображень більш освітлених схилів, збільшує — для менш освітлених і не змінює ці значення, коли поверхня горизонтальна.

На відміну від методів корекції, розглянутих в [3, 4], запропонований нами метод не приводить до явища «перекорекції» і не залежить від невідомого параметра [4], який потрібно додатково визначити емпіричним шляхом.

## ЗАСТОСУВАННЯ

Запропоновану методику топографічної корекції використано для картування лісового покриву одного із гірських районів Західного Саяну (Сибір) за даними сенсора ETM<sup>+</sup> супутника «Landsat-7» (10.09.2000 р.). За тестову ділянку вибрана територія в межах Єрмаковського полігону, який розташований у гірській частині півдня Сибіру. Територія ділянки обмежена координатами 92°48'48" — 92°52'48" с. д. і 52°02'32" — 53°00'56" п.ш.

На рис. 1 наведено фрагмент знімка «Landsat-7» з розташуванням тестової ділянки, для якої здійснено верифікацію запропонованого методу топографічної корекції даних сенсора ETM<sup>+</sup> супутника «Landsat-7» у оптичному та інфрачервоному каналах. Цифрову модель рельєфу тест-ділянки побудовано за даними фірми ATDI, які узгоджені з космічним знімком за допомогою програми ERDAS Imagine. Початкові дані цифрової моделі мають точність 500 м. Тому для суміщення даних зі знімком «Landsat-7» з розрізнювальною здатністю 30 м виконана їхня білінійна інтерполяція, та розмір раstra цифрової моделі приведено до 30 м. Вказана розрізнювальна здатність цифрової моделі не дозволяє зберегти невеликі форми рельєфу, але великі форми — гірські хребти та іхні схили, міжгірські западини та долини гірських рік досить добре відбиваються й створюють основу для проведення у першому наближенні радіометричної орто-корекції знімка.

За наведеною методикою для тестової області були обчислені кути нахилу та напрямок нахилу

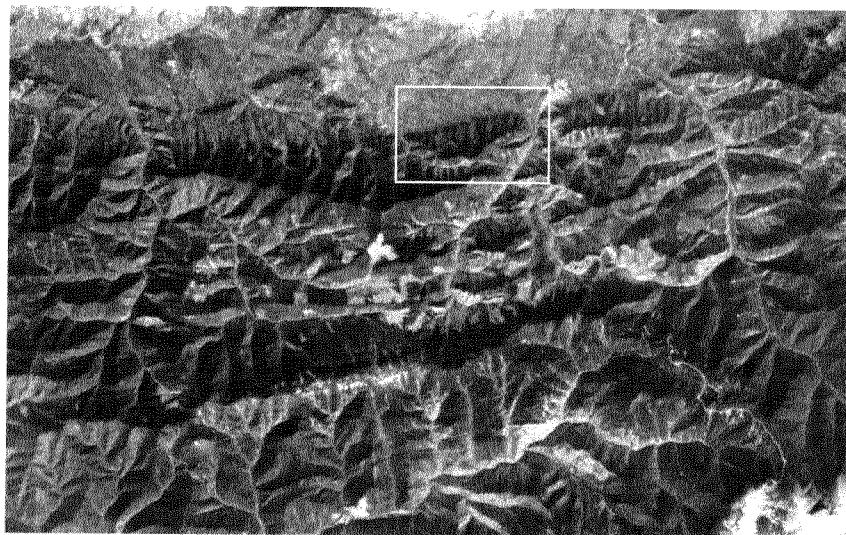


Рис. 1. Фрагмент знімка «Landsat-7» (10 вересня 2000 р.) для Єрмаковського полігону. Білий прямокутник показує ділянку проведення детальних досліджень

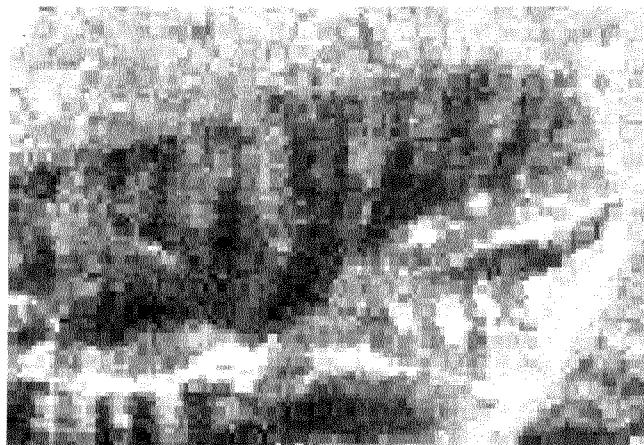


Рис. 2. Фрагмент знімка «Landsat-7» (ділянка детальних досліджень) без топографічної корекції (комбінація зеленого, червоного та інфрачервоного каналів)

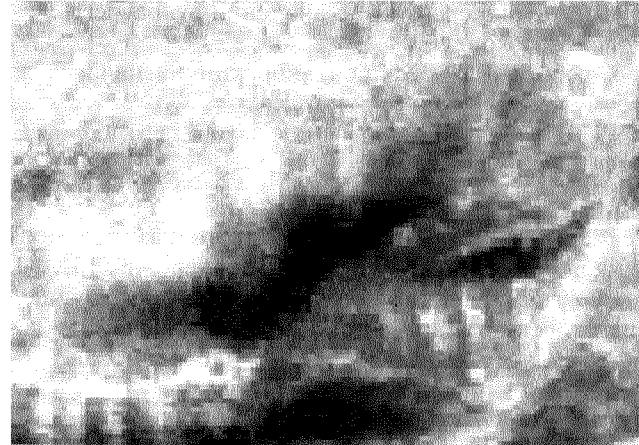


Рис. 3. Фрагмент знімка «Landsat-7» (ділянка детальних досліджень) після топографічної корекції (комбінація зеленого, червоного та інфрачервоного каналів)

поверхні для кожної площинки, яка відповідає пікселу зображення «Landsat-7» по відношенню до напрямку сонячного випромінювання. Використовуючи ці величини, була проведена корекція яскравісних характеристик оптичних каналів знімка «Landsat-7» (рис. 1).

З метою оцінки значимості проведеної корекції для класифікації знімка «Landsat-7» за видами лісових рослинних угруповань виконано наступний експеримент. Використовуючи зовсім однакові ді-

лянки для навчання, була проведена класифікація визначеного фрагменту знімка «Landsat-7» за даними до проведення радіометричної ортокорекції та після неї (рис. 2, 3). Експеримент показав, що найбільші відмінні стосуються схилів, звернених до Сонця. У багатьох місцях одержано зовсім різний розподіл видів рослинності (рис. 4). Зіставлення з наземними даними показує, що класифікація, проведена за відкоректованими даними, значно більше відповідає наземним завірочним даним. Виділено

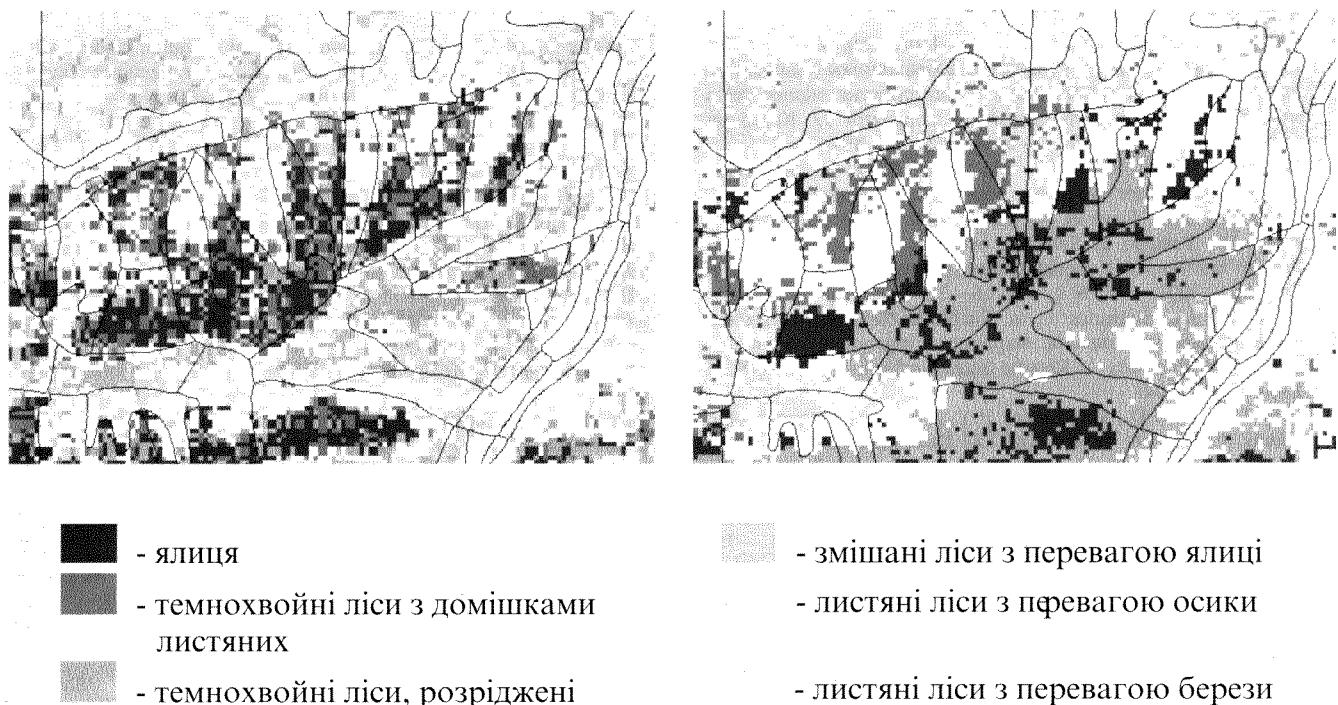


Рис. 4. Фрагмент класифікованого знімка «Landsat-7»: а — без топографічної корекції, б — після топографічної корекції

шість класифікаційних класів. Результати класифікації зіставлялися із даними опису наявного складу лісів на тест-ділянці. За описом про наявний склад лісів, класифікація без корекції даних у високогірній частині (рис. 4, а) не відповідає даним опису і дає неправильний результат: зокрема виділено листяні ліси з перевагою осики на висотах від 760 м до 900 м, де за даними [7] листяні породи дерев не ростуть. Ареал їхнього розповсюдження обмежений висотою 760 м. Результати класифікації із застосуванням топографічної корекції (рис. 4, б) краще узгоджуються із даними опису про склад лісів на тест-ділянці.

Наш експеримент показує, що розроблений метод топографічної корекції (1), (4) поліпшує результати класифікації в порівнянні з класифікацією, яка використовує беспосередньо значення яскравостей, реєстровані супутником.

## Висновки

Розроблено новий метод топографічної корекції цифрових супутникових зображень гірських територій у видимому та БІЧ-діапазонах для класифікації і картування лісового покриву.

Розроблено програму, яка реалізує чисельно топографічну корекцію цифрових значень для кожного піксела зображення. Верифікацію розробленої методики здійснено на тестовій ділянці фрагменту зображення сенсора ETM<sup>+</sup> супутника «Landsat-7». Зіставлення результатів класифікації із наявним описом даних про склад лісів на тест-ділянці показало, що запропонований метод топографічної корекції значно покращує результати класифікації. При цьому результати топографічної корекції суттєво залежать від точності побудови цифрової моделі рельєфу.

При побудові цифрової моделі рельєфу для конкретного зображення гірської території необхідно, щоб просторова розрізнювальна здатність моделі узгоджувалася із просторовою розрізнювальною здатністю космознімка. Від точності задання значень висот рельєфу для кожного піксела зображення гірської території залежить точність визначення кутів нахилу і напрямку нормалі та косинуса кута падіння сонячних променів, а значить, і коефіцієнта корекції.

1. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. — Ленин-

- град: Гидрометеоиздат, 1978.—216 с.
2. Сахацький О. І., Сибірцева О. М., Шпортьюк З. М. Комбінація цифрової моделі рельєфу із зображенням «Landsat-7» для визначення топографічних характеристик місцевості з метою проведення радіометричної корекції // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 89—91.
  3. Carpenter G. A., Gopal S., Macomber S., et al. A Neural network method for mixture estimation for vegetation mapping // *Remote Sens. Environ.*—1999.—70, N 2.—P. 138—152.
  4. Katila M., Tomppo E. Selecting estimation parameters for the Finnish multisource National Forest Inventory // *Remote Sens. Environ.*—2001.—76, N 1.—P. 16—32.
  5. Pons X., Sole-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—204.
  6. Proy C., Tanre D., Deschamps P.Y. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data // *Remote Sens. Environ.*—1989.—30, N 1.—P. 21—32.
  7. Ranson K. J., Sun G., Kharuk V. J., Kovacs K. Characterisation of forests in western Sayan Mountains, Siberia from SIR-C SAR Date // *Remote Sens. Environ.*—2001.—75, N 2.—P. 188—200.
  8. Yang C., Vidal A. Combination of digital elevation models with SPOT-1 HRV multispectral imagery for reflectance factor mapping // *Remote Sens. Environ.*—1990.—32, N 1.—P. 35—45.
- 

**THE APPLICATION OF A TOPOGRAPHIC CORRECTION METHOD OF MULTIZONAL SPACE IMAGE DATA FOR THE CLASSIFICATION OF FOREST COVER IN MOUNTAINOUS TERRAIN**

**V. I. Lyalko, Z. M. Shportyuk,  
O. I. Sakhatskyi, O. M. Sybirtseva**

A new topographic correction method of multizonal space image data for the classification of forest cover in mountainous terrain is developed. The method was tested by the classification of forests of Western Sayan mountain areas, Siberia with the use of the Landsat-7 ETM<sup>+</sup> image data. It is shown that the topographical correction essentially improves classification results.