

УДК 528.88.04:551.4

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

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Оцінка точності результатів топографічної корекції даних космозйомки гірських територій в залежності від точності цифрової моделі рельєфу

Надійшла до редакції 29.11.04

Показано вплив точності цифрових моделей рельєфу на коефіцієнт топографічної корекції даних сенсора ЕТМ⁺ супутника «Landsat-7» і результати класифікації рослинного покриву. Встановлено межу застосовності методу топокорекції в залежності від кута падіння сонячних променів і двосторонню оцінку коефіцієнта корекції.

При тематичній інтерпретації даних космозйомки гірських районів особливо актуальним є врахування впливу рельєфу, який вносить спотворення у величини спектральних характеристик земної поверхні, що реєструються сенсорами космічних апаратів. Усунення цих спотворень здійснюється за допомогою топографічної корекції даних космозйомки, яка є одним із найважливіших етапів у технологічному циклі обробки даних ДЗЗ.

Оскільки точність топокорекції залежить від цифрової моделі рельєфу, ми оцінили залежність точності топографічної корекції даних космозйомки гірських територій від точності цифрової моделі рельєфу. У запропонованому методі топографічної корекції даних багатозональних космознімків гірських територій [1, 4] коефіцієнт корекції для кожного пікселя зображення обчислювався як величина відношення косинуса зенітного кута Сонця на момент зйомки до косинуса кута падіння сонячного променя на земну поверхню. Як відомо, кут падіння сонячного променя залежить від кутів нахилу і напрямку схилу земної поверхні, обчислення яких можна здійснити, якщо існує відповідна цифрова модель рельєфу DEM [3].

Мета даного дослідження — оцінка впливу точності побудови DEM на величину коефіцієнта топографічної корекції і на результати класифікації лісового покриву одного із гірських районів Сибіру за даними сенсора ЕТМ⁺ супутника «Landsat-7» [2].

На рис. 1 наведено фрагмент знімка сенсора ЕТМ⁺ КА «Landsat-7» від 10 вересня 2000 р., на якому прямокутником позначено тестову ділянку, для зображення якої здійснювалась топографічна корекція з використанням даних двох цифрових моделей рельєфу (DEM), заданих з різною початковою точністю, з подальшою класифікацією лісового покриву.

Тестова ділянка розташована в межах Єрмаковського полігону у гірському районі Західних Саян на півдні Сибіру. Територія ділянки обмежена координатами $92^{\circ}48'57''$ — $92^{\circ}52'44''$ с. д. і $53^{\circ}02'52''$ — $53^{\circ}00'56''$ північної широти. Зображення тест-ділянки містить 151×123 піксели. За даними супровідного файлу до космознімка на час зйомки висота Сонця дорівнювала $39^{\circ}36'$, азимут 157° (для знімків «Landsat-7» азимут вважається додатним при відліку від точки півночі в напрямку руху годинникової стрілки).

За двома наборами початкових даних побудовано дві цифрові моделі рельєфу тест-ділянки DEM1 (рис. 2, а) і DEM2 (рис. 2, б). Суміщення початкових даних із космознімком здійснювалося за допомогою програмних продуктів ERDAS Imagine. DEM1 побудовано за початковими даними фірми ATDI, заданими з точністю 500 м, а DEM2 — за початковими даними, заданими з точністю 90 м (дані архіву геологічної служби США). Щоб отримати значення висот рельєфу для кожного пікселя

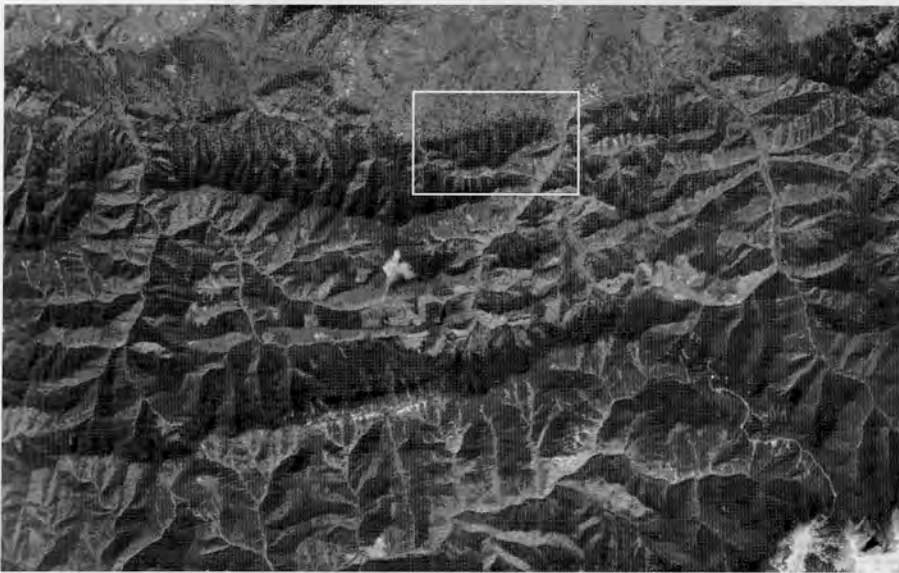


Рис. 1. Фрагмент знімка «Landsat-7» (10.09.2000 р.) в межах Єрмаковського полігону. Білим прямокутником виділено тестову ділянку для досліджень

зображення тест-ділянки, просторова розрізненість якого 30 м, виконано білінійну інтерполяцію початкових даних цифрових моделей для приведення розміру їхніх растрів до 30 м.

Зіставлення двох моделей DEM1 і DEM2 свідчить про те, що DEM1 згладжує малі форми рельєфу, але протяжні гірські хребти та схили, міжгірські западини та долини гірських рік досить добре відображаються і можуть служити основою для визначення топографічних характеристик місцевості і коефіцієнтів корекції. Краща точність моделі DEM2 дозволяє відтворити малі форми рельєфу, які були згладжені на DEM1, зокрема невеликі западини протяжністю до 500 м із нахилами схилів, які відрізняються від нахилів DEM1. Для відповідних пікселів зображення зміна кутів нахилу і напрямку схилу викликає зміну величини кута падіння сонячних променів і коефіцієнта корекції [1, 4].

Використовуючи дані DEM1 і DEM2, для кожного піксела зображення тест-ділянки за формулами, наведеними в [3—4], обчислено локальні кути нахилу і азимуту земної поверхні та кути падіння сонячних променів.

Поправка у спостережені цифрові покази значень спектральної яскравості DN сенсора ETM⁺ для кожного піксела зображення у оптичному та близькому інфрачервоному діапазонах обчислювалася за формулою

$$DN_b = k \cdot DN,$$

де DN_b — відкориговане значення спектральної яскравості, k — коефіцієнт корекції. За запропонованим нами методом [1, 4] топографічної корекції,



Рис. 2. Цифрові моделі рельєфу DEM тест-ділянки, побудовані за різними початковими даними. Темний колір презентує малі підвищення, світлий — високі; а — DEM1 (точність початкових даних 500 м), б — DEM2 (точність початкових даних 90 м)

коефіцієнт корекції для кожного піксела зображення обчислюється за формулою

$$k = \cos\Theta_s / \cos i, \quad (1)$$

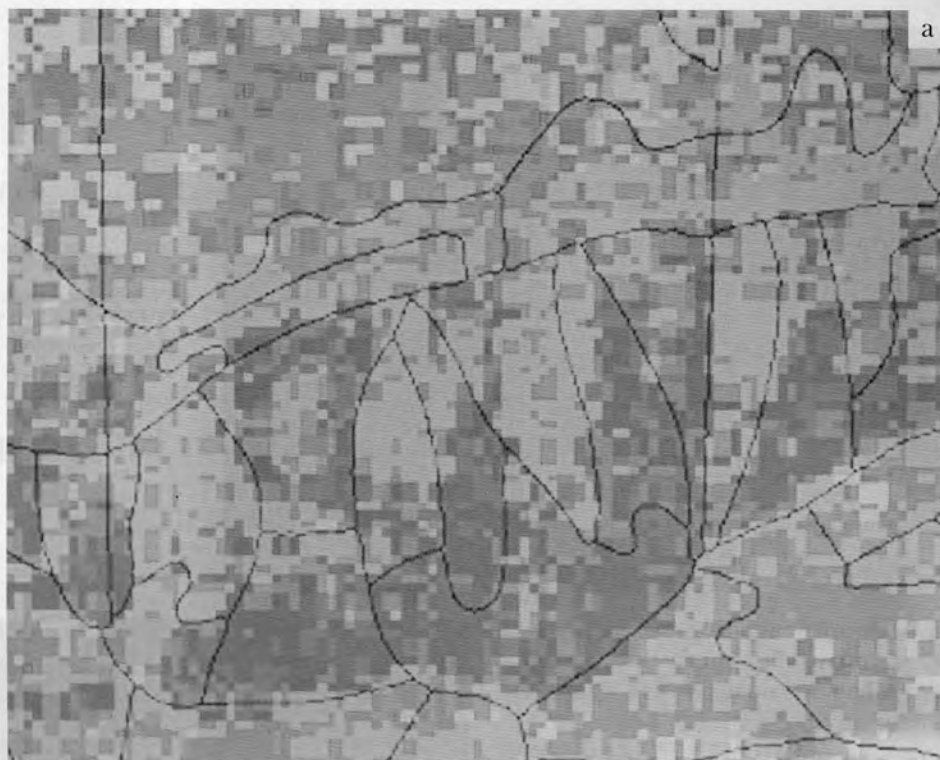
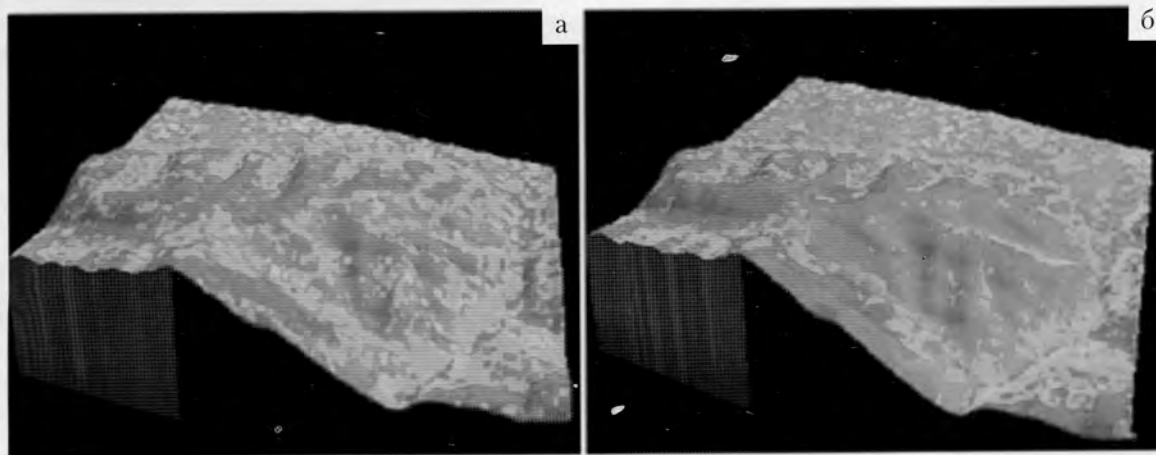


Рис. 3. Фрагмент класифікованого знімка «Landsat-7 (ділянка детальних досліджень): а — без топографічної корекції, б — після топокорекції з використанням даних DEM1



Рис. 3. (закінчення): в — після топокорекції з використанням даних DEM2



Умовні позначення







- | | | | |
|--|---|---|-----------------------------------|
|  | - ялиця |  | - змішані ліси з перевагою ялиці |
|  | - темнохвойні ліси з домішками листяних |  | - листяні ліси з перевагою осики |
|  | - темнохвойні ліси, розріджені |  | - листяні ліси з перевагою берези |

Рис. 4. Тривимірні зображення фрагменту класифікованого знімка без топокорекції (а) і з топокорекцією (б)

де Θ — зенітна висота Сонця на час космознімання, i — кут падіння сонячних променів на елемент поверхні DEM1 (або DEM2), який відповідає пікселю зображення.

Зіставлення результатів обчислень топографічних характеристик поверхні показало, що максимальне значення кута нахилу схилів за даними DEM2 дорівнює 35° , а за даними DEM1 — 26° . Обчислене за даними DEM2 мінімальне значення косинуса кута падіння сонячних променів $\min \cos i = 0.276$, а відповідне йому максимальне значення коригуючого множника збільшилося до 3.6, в той час як для даних DEM1 воно не перевищувало 2.

З метою оцінки впливу топографічної корекції на результати подальшої класифікації лісового покриву тест-ділянки проведено такий експеримент. Використовуючи зовсім однакові ділянки для навчання і метод найбільшої вірогідності, проведено класифікацію рослинного покриву визначеного фрагмента знімка «Landsat-7» за трьома типами даних: за даними без топографічної корекції і з корекцією, виконаною з використанням коригуючих коефіцієнтів, обчислених за даними моделей DEM1 і DEM2. Результати класифікації наведено на рис. 3.

В результаті класифікації виділено шість типів лісового покриву. Зіставлення результатів класифікації з даними опису наявного складу лісів на тест-ділянці показало, що найбільші відмінності в класифікації спостерігаються на схилах, звернених до Сонця, і западинах, які не знайшли свого відображення в DEM1. Класифікація без корекції даних у високогірній частині (рис. 3, а) не відповідає даним опису, оскільки листяні ліси з перевагою осики не можуть рости на висотах, більших за 760 м. При зіставленні з наземними даними результатів класифікації лісового покриву за космознімком «Landsat-7», здійснених без проведення корекції та із проведенням топокорекцій на основі двох DEM, побудованих із різною початковою точністю, найбільш точною виявилась класифікація з використанням DEM2 (початкова точність 90 м). Результати класифікації із застосуванням топографічної корекції з використанням DEM1 (рис. 3, б), краще узгоджуються із наземними даними у високогірній частині ділянки, але дають неточні результати на схилах, де є невеликі западини. Класифікація, проведена за даними, відкоригованими з використанням DEM2, (рис. 3, в) найкраще відповідає наземним завірковим даним.

На рис. 4 наведено класифіковані тривимірні зображення фрагмента космознімка досліджуваної ділянки без корекції і з топографічною корекцією, виконаною за даними DEM2.

ВИСНОВКИ

Для покращення класифікації рослинного покриву за даними космознімків сенсора ETM+ КА «Landsat-7» гірських територій необхідна топографічна корекція цих даних, яку можна здійснити за наявності відповідної цифрової моделі рельєфу DEM. Точність запропонованого методу топографічної корекції суттєво залежить від точності побудови DEM. Як показали наші дослідження результатів класифікації лісового покриву за космознімком «Landsat-7», здійснених без топокорекції та із застосуванням топокорекцій на основі двох DEM, побудованих з різною початковою точністю (500 м і 90 м), при зіставленні з наземними даними, точнішою є класифікація з використанням DEM2 (початкова точність — 90 м).

Запропонований метод топокорекції застосовний тільки для добре освітлених територій, для яких кут падіння сонячних променів не перевищує 70° . Встановлено двосторонні обмеження на коефіцієнт корекції $\cos \Theta_i \leq k \leq 2$. Піксели, для яких ця умова не виконується, повинні бути класифіковані окремо.

1. Лялько В. І., Сахацький О. І., Шпортьок З. М., Сибірцева О. М. Застосування методу топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 2/3. — С. 94—98.
2. Лялько В. І., Сахацький О. І., Шпортьок З. М., Сибірцева О. М. Оцінка точності результатів топографічної корекції даних космознімки гірських територій в залежності від точності цифрової моделі рельєфу // Четвертая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сб. тез. — Крым, Пониловка, 19—26 сентября, 2004. — Киев, 2004. — С. 147.
3. Сахацький О. І., Сибірцева О. М., Шпортьок З. М. Комбінація цифрової моделі рельєфу із зображеннями «Landsat-7» для визначення топографічних характеристик місцевості з метою проведення радіометричної корекції // Космічна наука і технологія. — 2002. — 8, № 2/3. — С. 89—91.
4. Шпортьок З. М., Сибірцева О. М. Метод топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Доп. НАН України. — 2004. — № 1. — С. 123—125.

ESTIMATION OF THE TOPOGRAPHIC CORRECTION ACCURACY FOR SATELLITE DATA ON MOUNTAIN REGIONS IN RELATION TO THE DIGITAL ELEVATION MODEL ACCURACY

V. I. Lyalko, O. I. Sakhatskiy, Z. M. Shportyuk, O. M. Sybirtseva

We present the effect of the digital elevation model accuracy on the topographic correction coefficient for Landsat ETM+ data and the results of vegetation canopy classification. The limit of application of the topocorrection method are determined in relation to radiation incident angle. Two estimates of correction coefficient are found.