

Комбінація цифрової моделі рельєфу із зображеннями «Landsat-7» для визначення топографічних характеристик місцевості з метою проведення радіометричної корекції

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

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Виконано роботи, які у підсумку ставлять за мету проведення радіометричної ортокорекції багатозональних знімків «Landsat-7» і проводяться в рамках теми «Дослідження стану лісових масивів Сибіру з використанням космічної зйомки в плані співробітництва між Комітетом із системного аналізу при Президії НАН України та Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA, Австрія) за спільним дослідницьким проектом «Лісове господарство».

Досліджувана територія розташована в межах центральної частини Сибіру. Її протяжність складає 3361 км з заходу на схід і 1681 км з півночі на південь, загальна площа 5649841 км². За природними умовами район робіт дуже неоднорідний і поділяється на три області — західну, східну та південну. Західна область розташована в межах Західно-Сибірської рівнини, східна — в межах Середньо-Сибірського плоскогір'я, а південна відповідає Південно-Сибірській гірській області. Таким чином, північ території — це рівнина, а південь — гори.

Ліси в гірській частині на півдні Сибіру розташовані на північному макросхилі та в осьовій частині Західного Саяну. На вододілах ліси в основному представлені темнохвойними ялицевими лісами з домішками кедру, а вздовж долин річок можуть переважати листяні ліси, домінуючою породою в яких є береза та осика. Досліджувана територія — це система сильно розчленованих гірських хребтів, витягнутих переважно в широтному напрямку, що з півночі обмежена неширокою смугою низьких гір. Абсолютні позначки вододілів коливаються від 1200 м до 1500 м над рівнем моря. В осьовій частині Західного Саяну, де хребти утворюють вододіл всієї системи, висота досягає 2000—2500 м. Річкові долини розташовані на позначках 500—800 м і, таким чином, різниця висот на окремих

ділянках може досягати 1000—1700 м. Саме для таких районів для вивчення лісів за даними багатозональної космічної зйомки необхідна радіометрична ортокорекція даних каналів космічного знімка. Без виконання такої корекції не можна сподіватись на якісні результати, бо спектральні характеристики лісів одного класу на різних схилах орієнтації схилу щодо сонячного освітлення.

На рис. 1 наведено фрагмент космознімка «Landsat-7» (10.09.2000 р.) ділянки території, для якої проводяться модельні розрахунки. Ділянка знаходиться в межах з координатами 92°48'48" — 92°52'48" с.д. та 53°02'32" — 53°00'56" п.ш. В статті наведено результати першого етапу робіт, які ставлять за мету визначення топографічних характеристик місцевості, необхідних для проведення радіометричної корекції знімка.

Використання цифрової моделі рельєфу (DEM), побудованої для знімка описаної вище території (рис. 1), одержаного з КА «Landsat-7» (10.09.2000 р.), дозволяє за описаною нижче методикою для кожного пікселя зображення обчислити значення кутів нахилу та напрямку (які дорівнюють зенітному та азимутальному кутам) локальної поверхневої нормалі до похилої площини, дотичної до локальної поверхні в точці, яка збігається з центром пікселя. Визначення цих кутів необхідне для проведення радіометричної корекції даних багатоспектральних зображень «Landsat-7» (10.09.2000 р.) при дослідженні гірських територій.

Як відомо [1, 2], косинус кута падіння i сонячних променів на довільно орієнтовану похилу площину визначається співвідношенням

$$\cos i = \cos \Theta_s \cos \Theta + \sin \Theta_s \sin \Theta \cos(\Psi - \Psi_s), \quad (1)$$

де Θ_s — зенітний кут Сонця, Ψ_s — азимут Сонця,

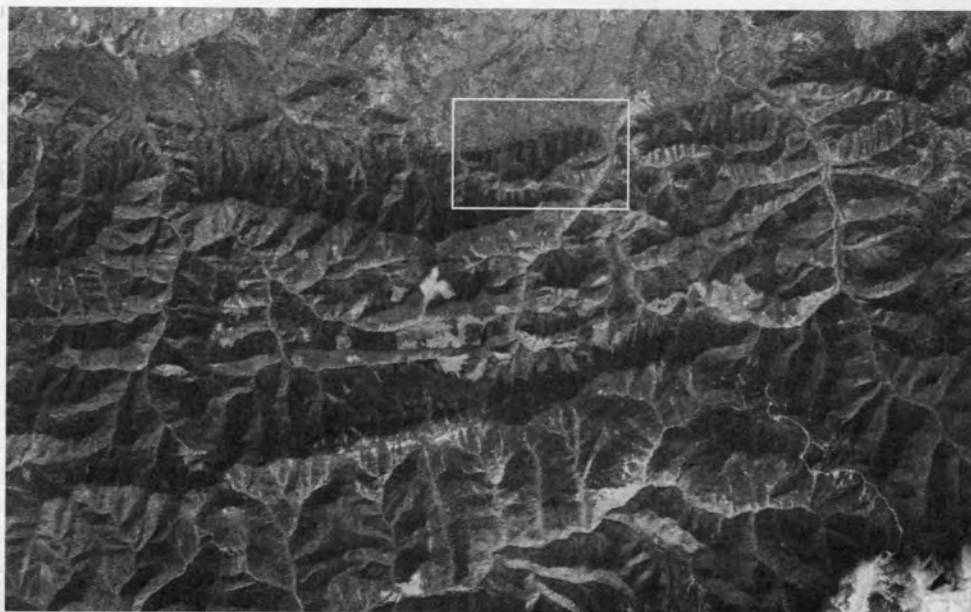


Рис. 1. Фрагмент знімку «Landsat-7» (10.09.2000 р.) одного з гірських районів Західного Саяну (Сибір). Білим прямокутником виділено тест-ділянку для досліджень



Рис. 2. Цифрова модель рельєфу — DEM тест-ділянки. Темний колір презентує малі підвищення, світлий — високі. Висоти змінюються від 462 до 992 м

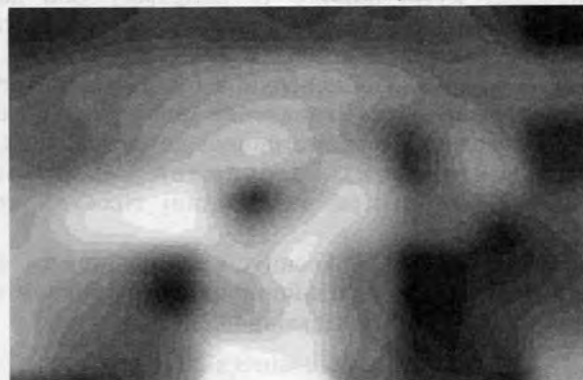


Рис. 3. Зображення кутів нахилу поверхні тест-ділянки, одержаних з DEM, значення яких змінюються від 0 до 26°



Рис. 4. Зображення азимутів тест-ділянки, одержаних з DEM, значення яких змінюються від 0 до 360°

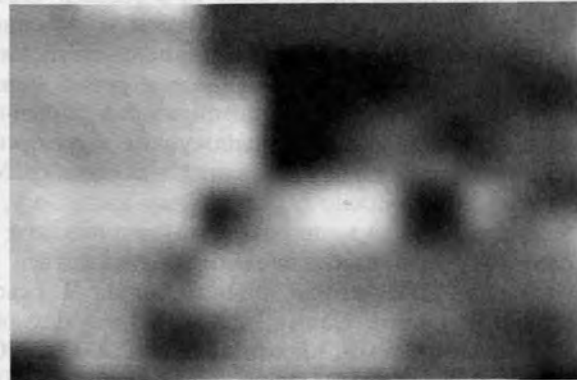


Рис. 5. Зображення значень $\cos i$, обчислених за формулою (1). Темний колір презентує малі значення, світлий — великі

Θ — кут нахилу поверхні до горизонтальної площини, Ψ — азимут проєкції нормалі до похилої площини на горизонтальну площину.

Зауважимо, що зенітний кут Сонця та його азимут задаються в супровідному файлі до зображень сенсора ETM + «Landsat-7». У випадку горизонтальної площини кут падіння сонячного променя дорівнює зенітному куту Сонця. Якщо поверхня рельєфу не горизонтальна, то, використовуючи цифрову модель рельєфу DEM, рівняння локальної поверхні рельєфу можна записати в локальній прямокутній системі координат з центром в центрі піксела у вигляді $z = f(x, y)$. Тут введено позначення: z — вертикальна координата; x, y — координати на горизонтальній площині, вісь OY якої спрямована на північ, $f(x, y)$ — задана функція. Тоді кути Θ і Ψ визначаються із виразів

$$\cos\Theta = \left[1 + \left(-\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \left(-\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad (2)$$

$$\cos\Psi = -\frac{\partial f}{\partial y} \cdot \left[\left(-\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \left(-\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 \right]^{-1/2}. \quad (3)$$

Зображення цифрової моделі рельєфу DEM виділеної на рис. 1 тест-ділянки побудовано за допомогою програмних продуктів «ERDAS Imagine» і наведено на рис. 2. Зображення кутів нахилу та азимутів, одержаних для кожного піксела тест-ділянки із рівнянь (2) і (3), наведено на рис. 3 і 4. Рис. 5 представляє зображення $\cos i$, обчисленого за формулою (1) для кожного піксела тест-ділянки. Очевидно, що точність обчислення величин кутів нахилу та азимуту локальної поверхні суттєво залежить від точності побудови цифрової моделі рельєфу для конкретного знімка «Landsat-7».

1. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. — Л.: Гидрометеиздат, 1978.—216 с.
2. 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.

Обоснование методики определения разрешения на местности аэрокосмических систем с дискретными фотоприемниками

В. И. Кононов

Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данные о Земле, полученные с помощью аэрокосмических систем с дискретными фотоприемниками находят все большее применение для решения разнообразных народнохозяйственных задач. Широкое применение этих данных и повсеместное внедрение цифровых технологий приводят к настоятельной необходимости разработки методик количественной оценки изобразительных возможностей качества этих данных. Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого разрешения, полученных дискретными приемниками, для целей картографии, и особенно для официального государственного картографирования территории, требует проведения количественной оценки качества изображения. Особо важной для оптимизации использования данных в картографии, снижения затрат на их приобретение, обработку и получение конечных результатов, удовлетворяющих требова-

ниям нормативных документов, является оценка данных по критерию пространственного разрешения изображения на местности как одному из важнейших критериев, который позволяет судить о потребительских свойствах данных ДЗЗ. Поэтому назрела необходимость научного анализа различных подходов к оценке реального разрешения на местности систем дистанционного зондирования Земли высокого разрешения, применяемых для решения различных природохозяйственных и специальных задач.

Для систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с аналоговыми фотоприемниками (в дальнейшем — аналоговые системы), типичным представителем которых являются аэрофотосистемы, разработаны классические методики оценки величины разрешения на местности, основанные на использовании понятия «разрешающая способность» [4]. Для параметров аналоговых (аэрофотографических) систем в Украине имеются разрабо-