

ходимо иметь: — топографические карты районов исследования масштаба 1:100000 (для корректной географической привязки); — цифровые тематические карты слоев населенных пунктов, рек, лесов масштаба 1:100000 (для исключения из анализа зон, не соответствующих сельскохозяйственным землям);

— данные о тестовых (эталонных) участках; архивные материалы космической съемки, которые можно применять для исследования;

— космические снимки с разрешением не хуже 30 м, полученные (желательно) в октябре-ноябре,

марте-апреле (целесообразно получить осенний и весенний снимок одной и той же территории).

ACTUAL PROBLEMS OF AGRARIAN LAND RESOURCES CONTROL AND WAYS OF THEIR SOLUTION WITH THE USE OF SPACE SURVEYS DATA

V. I. Voloshyn, Ye. I. Bushuyev, O. I. Parshina,
A. Y. Pankratov, A. M. Glushchenko

The evaluation of areas under winter crops with estimation of crops state is carried out using space images. The method is intended for introducing agrometeorological support in practice.

УДК 553.98(477+575.18+571.66):558.8.003

© В. І. Волошин¹, Є. І. Бушуєв¹, О. І. Паршина¹, О. П. Федоров²

¹Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

²Національне космічне агентство України, Київ

МЕТОДИКА КЛАСИФІКАЦІЇ ПОКРИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНДШАФТУ

Розроблюється методика створення тематичної карти ландшафтних елементів за даними дистанційного зондування Землі, яка буде максимально формалізованою і доступною методикою для широкого кола користувачів.

Більшість робіт з досліджень елементів ландшафту на базі даних дистанційного зондування [1—5] присвячено класифікації ландшафту конкретної географічної зони або одного з об'єктів ландшафту — дельти річок, берегової лінії, заповідника тощо. Серед методів класифікації використовуються переважно традиційні методи контрольованої класифікації, а в останній час — метод нейронних мереж. Але переважна частина робіт носить авторський характер, що обмежує ефективне використання методики іншими операторами. Тому стає актуальною задача зробити її максимально формалізованою і доступною для використання широким колом користувачів, що і є головною метою даної роботи.

Методика розроблена у відповідності з «Вимогами до структури (складу) методичної документації щодо оброблення даних ДЗЗ. АЛФА.99.0014.059 ПР, 2004 р.» (ДП «Дніпрокосмос»), які у теперішній час відіграють роль нормативного документу НКАУ, має технологічний паспорт обробки, необхідні демонстраційні приклади. Вона призначена для виділення меж та кількісної оцінки площ, що зайняті окремими покривними елементами земної поверхні та застосовується з метою:

— формування базової тематичної космокарти земної поверхні території України масштабу 1:100000, актуалізованої для терміну спостереження;

— оцінки динаміки окремих покривних елементів земної поверхні;

— подальшої тематичної класифікації і дешифрування у межах окремих покривних елементів земної поверхні.

Методика орієнтована на використання даних ДЗЗ в оптичному діапазоні, у першу чергу супутників «Січ-1М» (МСУ-ЕУ) та «Метеор-3М» (МСУ-Е), як найдоступніших для українського користувача, а також IRS (LISS), Spot, Landsat, Terra (Aster) тощо.

Кінцевий інформаційний продукт (КІП) — тематична карта покривних елементів земної поверхні масштабу 1:100000.

Тематична карта включає такі елементи: водні об'єкти; багаторічна рослинність (ліси та балки); сільськогосподарські угіддя на стадії вегетації; сільськогосподарські угіддя під паром та ґрунти, що не вкриті рослинністю; елементи міської забудови, дороги, аеропорти, мости тощо.

Дешифрувальні ознаки розподіляються на три

групи: прямі — спектральні яскравості об'єктів; непрямі — властивості об'єктів, пов'язані із набором прямих ознак (вегетаційний індекс, головні компоненти та ін.); контекстуальні (топологічні) — властивості об'єктів земної поверхні, що визначаються із аналізу ознак об'єктів його оточення.

Ознаки дешифрування різних груп мають різні індикаційні властивості. Не завжди прямі ознаки є найвірогіднішими. Практично завжди кількість непрямих та контекстуальних ознак дешифрування перевищує кількість прямих.

Метод класифікації: оброблення даних виконується за допомогою контрольованої класифікації, або класифікації з навчанням.

Контрольована класифікація — це процес групування пікселів до класів, що відповідають деяким навчальним множинам, визначеним оператором. Навчальні множини визначаються так званими областями інтересу (ОІ), що вибираються на зображенні інтерактивно і повинні представляти собою однорідні угруповання пікселів. Перш ніж виконати контрольовану класифікацію, необхідно визначити та оцінити розподільність створених навчальних множин. Для цього є дві процедури: розрахунок матриці розподільності та візуалізація шляхом експорту визначених ОІ до n-вимірного візуалізатора, який дозволяє оцінити угрупованість кожної ОІ та перехрещення навчальних множин між собою.

Значення похибок обробки даних вважаються задовільними для класифікації, і можуть уточнюватися на етапах подальшої розробки методики, такі: загальна похибка класифікації — 80 %, похибки визначення координат — 70 м, відстані — 5 %, площ, 5 %

Багатоспектральні дані оптичної апаратури повинні бути надані в зеленому, червоному і ближньому ІЧ-діапазонах електромагнітного спектру. Характеристики оптичної апаратури конкретних КА наведені у табл. 1.

Вхідні дані повинні бути радіометрично та геометрично нормалізовані і не повинні потребувати операцій усунення завад.

Візуальний контроль якості вхідних даних виконується під час перегляду на дисплеї. Далі може бути виконаний контроль якості вхідних даних за відношенням «сигнал/шум» за допомогою процедури згладжування залишку (ДП «Дніпрокосмос». Програмне изделие «Обработка изображений высокой разрешающей способности» Руководство пользователя 25527406.00035-02). Процедура розраховує статистичні характеристики вхідних даних, виконує виділення пікселів завад на зображенні та шуму. Значення відношення «сигнал/шум» повин-

Таблиця 1. Характеристики оптичної апаратури КА

Характеристики апаратури	МСУ-Е «Метеор-3М»	МСУ-EV «Січ-1М»	LISS IRS/1C-1D
Спектральні діапазони, мкм			
зелений	0.5—0.6	0.5—0.59	0.52—0.59
червоний	0.6—0.7	0.61—0.69	0.62—0.68
ближній інфрачервоний	0.8—0.9	0.79—0.92	0.77—0.87
короткий інфрачервоний			1.55—01.70
Розмір піксела на місцевості, м			
поперек траєкторії	37.9	32	23.5
вздовж траєкторії	32	24	23.5(70.5)

не перевищувати 40.

Вимоги до допоміжних матеріалів (карти): цифрова карта України М 1:200000 має похибку взаємного положення контурів у плані ± 1.15 мм, похибка положення горизонталей по висоті становить $\pm 12—24$ м. Зважаючи на похибки векторної карти, рекомендується користуватись растровою картою М 1:100000. Ця карта була представлена в інтернеті окремими листами $6^\circ \times 4^\circ$ за довготою та широтою відповідно. Географічна прив'язка та мозаїка цих карт до розміру окремих листів або адміністративних територій дозволить використовувати їх для точнішої прив'язки за опорними точками.

Перш за все необхідно виконати геокодування даних топографічної карти масштабу 1:100000. Ця робота містить такі операції:

— прив'язка до географічної системи координат окремих листів;

— мозаїка листів та створення растрових геоференційованих файлів, що відповідають номенклатурному листу карти масштабу 1:5000000, або окремій території;

— створення програмного інтерфейсу доступу до окремого листа топографічної карти.

ДП «Дніпрокосмос» розроблено документ «Пособие по использованию в ГИС растровых топографических карт М 1:100000 АЛФА.81.0015.059-01 ОТ», що регламентує технічне виконання цієї роботи.

Операції при обробленні даних: послідовність виконання операцій оброблення даних наведена на рис. 1.

Методом оброблення даних є контрольована класифікація. Оператор виконує класифікацію з навчанням за одним із вирішувальних правил. Слід нагадати, що класифікація може вимагати проведення декількох ітерацій, якщо результати оцінки її якості виявляться незадовільними. Оператор повинен виконати наступні операції:

— визначити сигнатури, або навчальні вибірки даних;

— оцінити їхню статистику та розподілення;

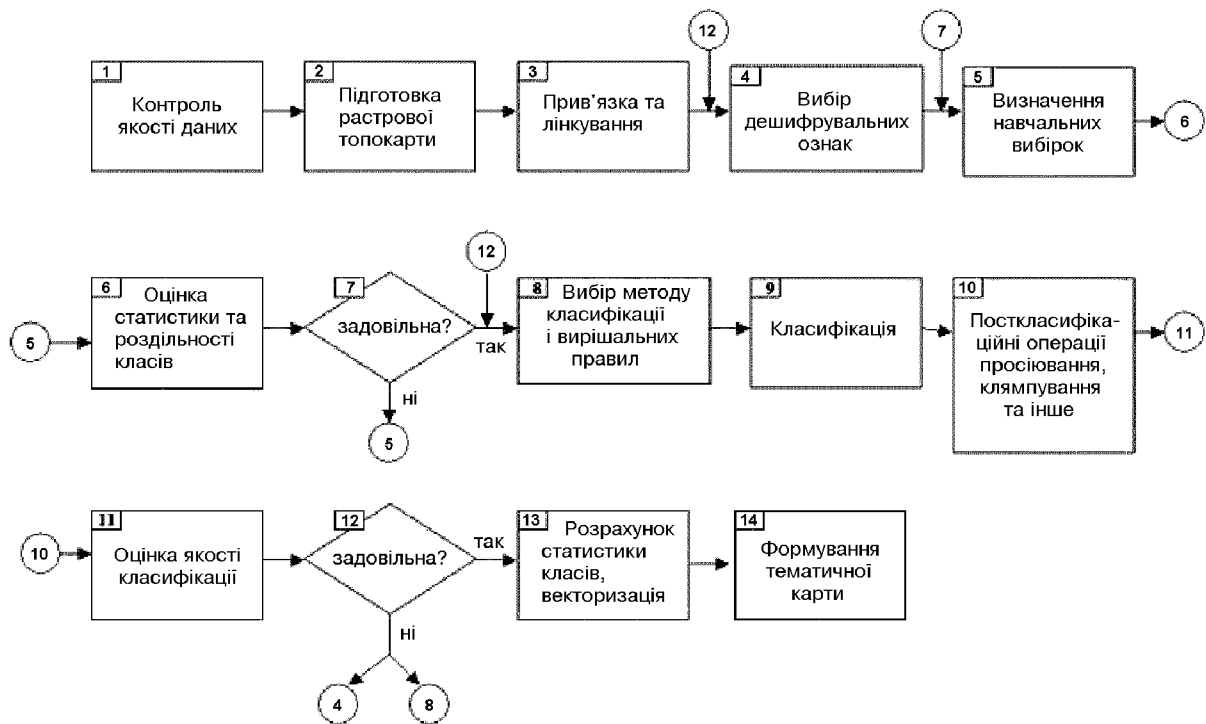


Рис. 1. Логічна модель вирішення тематичної задачі

- виконати класифікацію;
- провести оцінку її точності;
- вилучити із класів одиничні пікселі, використовуючи посткласифікаційні операції просіювання та клампування, операції аналізу більшості;
- вилучити хмарність як клас на підставі інших даних тієї ж території (фрагментування хмарності та мозаїка результатів її вилученням із кінцевого продукту);
- обчислити статистику класів (за площею).

Контроль якості та інтерпретації результатів оброблення даних: для оцінки якості класифікації може бути створений спеціальний растровий шар, що характеризує відстань кожного пікселя до центра його класу (так зване зображення відстані — distance image). На цьому зображенні яскравіші пікселі мають більше віддалення від центра класу і з більшою імовірністю можуть бути віднесені до категорії некласифікованих об'єктів, темніші — групуються навколо центра класу. Рис. 2 надає вигляд гістограми зображення відстані. Такий розподіл має назву розподілу хі-квадрат. Некласифіковані пікселі мають більше значення відстані, і тому групуються у хвості гістограми.

У табл. 2 наведено графіки можливих функцій розподілу зображення відстані. Графіки 1 та 2 вказують на задовільну класифікацію, графіки 3, 4

свідчать про те, що класифікація не може бути виконана коректно.

Іншою мірою якості класифікації є дивергенція, що кількісно визначає відстань між класами й обчислюється за формулою

$$D_{ij} = 1/2\text{tr}[(C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1})] + 1/2\text{tr}[(C_i^{-1} - C_j^{-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)]^T$$

де i, j — індекси порівнюваних класів; C_i, C_j — коваріційні матриці; μ_i, μ_j — середні значення векторів (центри класів); tr — слід матриці.

Результати розрахунку дивергенцій оформляються окремим файлом розподільності класів, у якому містяться:

- значення дивергенцій для кожної пари класів (в одному каналі);
- середня і мінімальна дивергенція між наборами каналів (ці параметри зручно використовувати для підбору найінформативніших каналів).

Дивергенція приймає значення від 0 до 2.

Значення $D > 1.9$ вказують на гарну розподільність; значення 1.7–1.9 — на достатню, нижчі — на відсутність розподільності класів і як наслідок на неможливість коректної класифікації.

Для оцінки якості класифікації використовуються наземні тестові дані у вигляді зображення, що

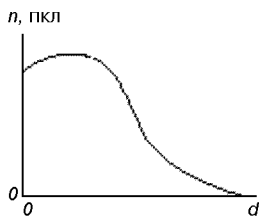






Рис. 2. Вигляд гістограми зображення відстані (n — кількість пікселів, d — відстань)

Таблиця 2. Графіки можливих функцій розподілу зображення відстані

Функція розподілу	Визначення порогу — ідентифікація пікселів, що найбільш імовірно класифіковані невірно
1 	Гладкий χ^2 -квадрат — знайти контрольну точку, де крива стає майже горизонтальною, і відрізати «хвіст»
2 	Незначні піки вказують на те, що клас має інші властивості, які не представлені у сигналі. Порогове значення їх відсіче
3 	Поганий клас. Багатомодальний розподіл свідчить про неоднорідність класу
4 	Пік кривої не збігається з 0. Необхідно визначити нову сигнатуру та повторити класифікацію зображення

було отримано раніше і має в своєму наборі множини визначених класів, або тестові дані, отримані польовим шляхом з використанням координатної прив'язки і підтвердженням даних на місцевості.

Для оцінки якості класифікації використовуються також GPS-зйомки з метою визначення координат на місцевості та візуальний контроль з метою визначення меж та наявності отриманих в результаті тематичної обробки класів даних.

Створення тематичної карти елементів ландшафту за даними ДЗЗ надасть можливість створення

даних за окремими масками, наприклад масками сільгоспугідь. Виключення чи навпаки, включення в обробку замаскованої таким чином території на основі наступних дистанційних даних (при умові точної прив'язки) дасть змогу їхнього подальшого детального дешифрування за обраною тематикою.

На теперішній час розроблено проект методики. Після проведення кваліфікаційних випробувань в ДП «Дніпрокосмос» та виготовлення експлуатаційної документації, методику передбачається передати до НЦУВКЗ.

1. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов: Пер. с англ. / Под ред. А. Н. Гельфана, Н. М. Новиковой, М. Б. Шадринной. — М.: РАСХН, 1999.—306 с.
2. Лялька В. И., Вульфсон Л. Д., Котляр А. Л. Ландшафтная классификация и оценка фитометрических параметров растительного покрова с использованием многозональных снимков в оптическом диапазоне сканера МСУ-В КА «Океан-О» // Матеріали ІІІ наради користувачів аерокосмічної інформації (20—24.11.2000 р., м. Київ). — Київ: Знання України, 2001.—С. 77—85.
3. Николаев В. И. Космическое ландшафтоведение. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993.—81 с.
4. Федоровский О. Д. Про дешифрування космічних знімків природних ландшафтів // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Методичний посібник по тематичній інтерпретації матеріалів аерокосмічних зйомок / Під ред. чл.-кор. НАНУ В. І. Лялька. — Київ: ЦАКДЗ ІГН НАНУ, 1999.—С. 46—49.
5. Федоровский А. Д., Якимчук В. Г. и др. Дешифрирование космических снимков ландшафтных комплексов на основе структурно-текстурного анализа // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 76—83.

METHOD OF CLASSIFICATION OF INTEGUMENTARY LANDSCAPE ELEMENTS

V. I. Voloshyn, Ye. I. Bushuyev, O. I. Parshina, O. P. Fedorov

We develop the method for the determination of technology for creation of thematic map of landscape elements of the territory of Ukraine using remotely sensed data. The purpose of our investigation is maximum formalization and accessibility of the method for many users.