

## 4. КАРТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 528.88:528.9 (477.85)

Е. Бондаренко, д-р геогр. наук, Я. Смірнов, асп.  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕШИФРУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Сформульовано методика автоматизованого та ручного дешифрування даних супутників сімейства Landsat за системою класифікації земельних ресурсів CORINE. Визначено основні спектральні ознаки категорій земельного покриття території Чернівецької області. Створено векторні полігональні шари з межами категорій земельного покриття регіону станом на 1989 та 2010 роки.*

**Ключові слова:** дистанційне зондування, класифікація зображень, ГІС, земельні ресурси, земельний покрив, землекористування, CORINE.

**Постановка проблеми.** Геоінформаційне картографування земельних ресурсів з використанням даних статистичної звітності, які і сьогодні залишаються одним з головних інформаційних джерел про них, передбачає створення картографічних творів з використанням в основному статистичних способів картографічного зображення (картограми та картодіаграм). Зрозуміло, що на їх основі одержуються картографічні моделі, які містять узагальнені якісні та кількісні показники, віднесені до адміністративно-територіальних утворень як одиниць картографування і дозволяють проводити геоінформаційний аналіз територіального розподілу земельних ресурсів лише за вказаними одиницями. Це звичайно не дає можливості вивчати земельні ресурси в межах виділених територій за науковою класифікацією та спонукає до вибору інших, додаткових джерел інформації про них. Такими є дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які, на відміну від статистичних даних, надають знання про реальний стан земельних ресурсів на чітко визначений момент часу у розрізі окремих компонентів земельного покриття (наприклад, сільськогосподарських угідь). Завдяки цьому суттєво розширюється коло задач, які можуть вирішуватися за картографічними творами земельних ресурсів, розробленими на основі даних ДЗЗ. Зокрема, з'являється можливість відображення та аналізу змін структурних компонентів земельних ресурсів і прогнозування їх подальшого стану.

Основним інструментом, що застосовується у сучасному (геоінформаційному) картографуванні земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ є геоінформаційні системи (ГІС). Інтеграція у сучасних повнофункціональних ГІС багатьох функцій, притаманних програмам обробки даних ДЗЗ, відкриває можливість виконання всіх робіт, пов'язаних з картографуванням на основі даних ДЗЗ у єдиному програмному середовищі. Усталений алгоритм створення картографічних моделей засобами таких ГІС включає у себе підготовку даних ДЗЗ, їх дешифрування та візуальне представлення у вигляді електронних або паперових зображень.

Вибір Чернівецької області як модельного регіону для геоінформаційного картографування земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ пов'язаний з тим, він розташований у межах рівнинної, передгірної і гірської місцевості та утворений з різних категорій земельного покриття. Завдяки цьому з'являється можливість перевірити коректність пропонованої методики дешифрування для різних типів місцевості. Окрім цього отримані картографічні моделі можуть бути використані для аналізу стану земельних ресурсів області та прогнозування їх змін.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання дешифрування даних ДЗЗ з метою картографування земельних ресурсів достатньо висвітлені у фаховій літературі. Теоретичні основи обробки та дешифрування супутникових знімків представлені у багатьох навчальних посібниках з

ДЗЗ. Наприклад, доцільно згадати про фундаментальну працю Р. Шовенгердта: "Remote Sensing: Models And Methods for Image Processing" або роботу В. Кашкіна "Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений" [9, 2]. Технічні аспекти функціонування та удосконалення алгоритмів цифрової обробки і дешифрування (класифікації) даних ДЗЗ представлені у статтях, опублікованих у фахових журналах, прикладами яких є праці М. Аткинхеда, Д. Статхакіса, К. Ловела, Л. Жанга, де розглянуті особливості класифікації даних ДЗЗ із залученням прийомів нечіткої логіки, а також Баєсових та нейронних мереж [5, 8, 10, 11].

Окремо варті уваги роботи, де засоби ГІС та дані ДЗЗ набувають ролі інструментів для визначення особливостей земельних ресурсів певної території. Наприклад, у дослідженні Т. Куемерле "Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique" на основі даних, отриманих супутниками Landsat проаналізовано зміни структури земельних ресурсів прикордонної території у межах України, Польщі та Словаччини [7]. Також доцільно вказати на статтю колективу вітчизняних вчених на чолі з Л. Бродським: "Проект INTAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы", у якій за даними супутників Landsat та SPOT на основі європейської системи класифікації земельних ресурсів CORINE (Coordination of information on the environment) було виконано дешифрування основних категорій земельного покриття території Чорнобильського полігону [1].

Знайти інформацію про виконання робіт, подібних за тематикою досліджень для території Чернівецької області не вдалось, що дозволяє стверджувати про актуальність піднятих у цій роботі питань.

**Метою** даної статті є розробка алгоритму дешифрування даних ДЗЗ з метою забезпечення картографічного представлення земельних ресурсів Чернівецької області засобами ГІС.

На основі мети доцільно виконати наступні завдання:

- *обрати систему класифікації земельних ресурсів та джерел даних ДЗЗ, які можуть використовуватись у процесі дешифрування;*

- *сформулювати методичні схеми автоматичної та інтерактивної їх класифікації;*

- *виявити основні дешифрувальні ознаки, характерні для категорій земельного покриття у системі класифікації земельних ресурсів CORINE;*

- *охарактеризувати послідовність створення векторних шарів з межами категорій земельного покриття регіону дослідження станом на 1989 та 2010 роки.*

**Виклад основного матеріалу.** Геоінформаційне картографування земельних ресурсів на основі даних

ДЗЗ полягає у виділенні в середовищі ГІС за супутниковими та аерофотознімками окремих категорій земельного покриву і землекористування. Аналіз робіт подібної тематики дозволяє стверджувати, що для середньомасштабного картографування земельних ресурсів одним з оптимальних джерел даних ДЗЗ є супутники Landsat [4]. Окрім цього виявлено, що функціональні можливості програмного пакету ArcGIS охоплюють всі задачі, які можуть постати у процесі геоінформаційного картографування і тому саме його доцільно використовувати як середовище для дешифрування даних ДЗЗ та представлення результатів картографування. Це твердження може бути обґрунтоване як технічними характеристиками програмного пакету ArcGIS, так і значною популярністю цього продукту серед дослідників земельних ресурсів.

Системою класифікації земельних ресурсів, за якою буде виконуватися дешифрування, обрано CORINE. Вона розроблена в рамках програми під назвою "Програма координації інформації про навколишнє середовище" і започаткована в 1985 році Європейською комісією з метою збору та обміну інформацією про навколишнє середовище в межах європейських країн. Система класифікації CORINE є ієрархічною за структурою і складається з 5 класів на першому рівні, 14 класів на другому рівні, а третій рівень класифікації – поділяється на 44 класи. За своєю суттю вона є змішаною, тобто містить як категорії земельного покриву, так і землекористування. Структура системи класифікації CORINE подана у табл. 1.

Дешифрування категорій земельного покриву та землекористування за системою класифікації CORINE виконувалось за серією мозаїк знімків супутника Landsat 5, які відображають земельні ресурси Чернівецької області станом на 1989 та 2010 роки. Його вирішено виконувати як із залученням алгоритмів автоматизованої (інтерактивної) класифікації, так і з використанням методів ручного (мануального) дешифрування відповідно до еталонних зображень категорій земельних ресурсів наведених у документації системи класифікації CORINE.

Основним засобом для здійснення автоматизованої класифікації обрано інструмент "Maximum Likelihood Classification" (англ. класифікація способом максимальної правдоподібності), доступний для використання у розширенні "Spatial Analyst" ГІС ArcGIS. Цей інструмент дозволяє виконувати автоматизовану класифікацію з навчанням.

Процес класифікації знімків за допомогою алгоритму автоматизованої класифікації з навчанням включав у себе ряд етапів.

На першому етапі виконано створення нового проекту в середовищі ArcGIS, до якого були додані всі базові набори просторових даних, розроблені для карто-

графування земельних ресурсів, а також всі доступні дані ДЗЗ. Векторні набори даних групувалися за елементами загальногеографічного змісту (наприклад, шляхи сполучення, гідрографія, населені пункти), а дані ДЗЗ – за джерелами отримання (наприклад, аерофотознімки, знімки Landsat 5, знімки Landsat 7 тощо).

Окремо сформовано групу мозаїк, отриманих у результаті обробки знімків супутника Landsat 5. Саме ці знімки використовувались як вхідні дані для класифікації.

З метою підвищення якості класифікації, за допомогою засобів візуалізації ArcGIS виконано налаштування особливостей відображення знімків на екрані. Зокрема, у вікні властивостей растру налаштовано розтягування кольорової гами знімків (Stretch) за методом стандартного відхилення (Standart Deviations). Також у цьому вікні підібрано комбінацію спектральних каналів "5-4-3", яка включає у себе короткохвильовий інфрачервоний, інфрачервоний та червоний канали знімків, отриманих сенсором ТМ супутників Landsat 4, 5. Ця композиція спектральних каналів є оптимальною для відображення здорової лісової рослинності та сільськогосподарських угідь і тому обрана основною для відображення знімків супутника Landsat 5. Доцільно також зазначити, що у процесі дешифрування використовувались і інші комбінації спектральних каналів, які вмикались в залежності від дешифрованої категорії земельного покриву. Зокрема, використовувались комбінації "4-5-1" для уточнення меж водних об'єктів та "4-3-2" – для дешифрування забудованих територій. Комбінація каналів "3-2-1" (природні кольори) використовувалась як для дешифрування меж природної рослинності, так і для відображення супутникових знімків у фінальних картографічних моделях.

Після завершення налаштування особливостей візуалізації даних ДЗЗ розпочався відбір еталонних класів для виконання класифікації з навчанням. Під еталонним класом розуміється масив пікселів зі схожими спектральними характеристиками і чітко визначеною категорією земельного покриву. Відбір еталонних класів здійснювався за допомогою інструментів, доступних через панель "Image Classification" у середовищі ArcGIS. Зокрема, використовувався інструмент "Draw Rectangle" для відбору пікселів до еталонних класів, а також інструмент "Training Sample Manager", інтерфейс якого дозволяє переглянути властивості створених класів і змінити їх назви та кольори.

Всього було визначено чотири основні еталонні класи, які охоплювали такі категорії земельного покриву системи класифікації CORINE як: "3.1.1 – широколистяні ліси", "3.1.2 – хвойні ліси", "3.1.3 – мішані ліси" та "5.1 – внутрішні води". Окремо сформовано п'ятий клас "інше", до якого увійшли пікселі всіх інших категорій земельного покриву (збудованих територій, сільськогосподарських угідь, боліт).

Таблиця 1. Ієрархічні рівні системи класифікації земельних ресурсів corine

| Рівень 1 |  | Рівень 2 |   | Рівень 3 |  |
|----------|--|----------|---|----------|--|
| Код      | Назва класу                                    | Код      | Назва класу   | Код      | Назва класу  |
| 1        | Штучні поверхні                                | 1.1      | Забудовані території  | 1.1.1    | Суцільна міська забудова                             |
|          |  |          |   | 1.1.2    | Несуцільна міська забудова                           |
|          |  | 1.2      | Землі промислового і комерційного призначення та транспорту     | 1.2.1    | Промислові та комерційні будівлі                     |
|          |  |          |   | 1.2.2    | Дороги, залізниці та прилеглі до них території       |
|          |  |          |   | 1.2.3    | Порти  |
|          |  |          |   | 1.2.4    | Аеропорти  |
|          |  | 1.3      | Шахти, звалища та території під будівельними майданчиками       | 1.3.1    | Території, призначені для видобутку корисних копалин |
|          |  |          |   | 1.3.2    | Звалища  |
|          |  |          |   | 1.3.3    | Будівельні майданчики                                |
|          |  | 1.4      | Землі, вкриті рослинністю не сільськогосподарського призначення | 1.4.1    | Парки та сквери                                      |
| 1.4.2    | Території, призначені для спорту та відпочинку |          |   |          |  |

Закінчення табл. 1

| Рівень 1 |   | Рівень 2 |  | Рівень 3 |  |
|----------|---|----------|--|----------|--|
| Код      | Назва класу                                       | Код      | Назва класу  | Код      | Назва класу  |
| 2        | Сільськогосподарські землі                        | 2.1      | Орні землі   | 2.1.1    | Незрошувані орні землі   |
|          |   |          |  | 2.1.2    | Зрошувані орні землі   |
|          |   |          |  | 2.1.3    | Рисові поля  |
|          |   | 2.2      | Багаторічні культури                               | 2.2.1    | Виноградники   |
|          |   |          |  | 2.2.2    | Сади та плантації ягід   |
|          |   |          |  | 2.2.3    | Насадження олів  |
|          |   | 2.3      | Пасовища   | 2.3.1    | Пасовища   |
|          |   |          |  | 2.4.1    | Однорічні культури з вкрапленнями багаторічних                                     |
|          |   | 2.4      | Гетерогенні сільськогосподарські території         | 2.4.2    | Складні зразки культивування   |
|          |   |          |  | 2.4.3    | Сільськогосподарські землі зі значними територіями, вкритими природною рослинністю |
| 2.4.4    | Сільськогосподарські землі, частково вкриті лісом |          |  |          |  |
| 3.1.1    | Широколистяні ліси                                |          |  |          |  |
| 3        | Ліси та напівприродні території                   | 3.1      | Ліси   | 3.1.2    | Хвойні ліси  |
|          |   |          |  | 3.1.3    | Мішані ліси  |
|          |   |          |  | 3.2.1    | Луки (природні пасовища)   |
|          |   | 3.2      | Чагарники і трав'янисті зарослі                    | 3.2.2    | Мохові болота і пустки   |
|          |   |          |  | 3.2.3    | Склерофільна рослинність   |
|          |   |          |  | 3.2.4    | Чагарники, що переходять у ліс   |
|          |   |          |  | 3.3.1    | Пляжі, дюни та піски   |
|          |   | 3.3      | Відкриті землі з незначною рослинністю або без неї | 3.3.2    | Голі скелі   |
|          |   |          |  | 3.3.3    | Землі з незначною рослинністю  |
|          |   |          |  | 3.3.4    | Гарі   |
|          |   |          |  | 3.3.5    | Льодовики та вічні сніги   |
|          |   |          |  | 4.1.1    | Болота   |
|          |   |          |  | 4.1.2    | Торфовища  |
|          |   |          |  | 4.2.1    | Солончаки  |
|          |   | 4        | Болота   | 4.2      | Прибережні болота  |
| 4.2.3    | Припливні рівнини                                 |          |  |          |  |
| 5.1.1    | Річки, канали                                     |          |  |          |  |
| 5        | Водні об'єкти                                     | 5.1      | Внутрішні води                                     | 5.1.2    | Озера, ставки  |
|          |   |          |  | 5.2.1    | Лагуни   |
|          |   |          |  | 5.2.2    | Естуарії   |
|          |   | 5.2      | Морські води                                       | 5.2.3    | Моря та океани   |

Вибір таких класів для автоматизованої класифікації пов'язаний з тим, що лісова рослинність та водні об'єкти за спектральними характеристиками суттєво відрізняються від інших категорій земельного покриву і відповідно можуть бути з високою точністю виділені за допомогою автоматичних алгоритмів. Водночас такі категорії земельного покриву як "1 – штучні поверхні" та "2 – сільськогосподарські землі" володіють суттєво складнішою спектральною структурою, що значно утруднює процес автоматизованої класифікації. Тому для виділення цих категорій земельного покриву прийнято рішення використовувати інтерактивні методи дешифрування із залученням додаткових джерел інформації.

Формування класів виконувалось шляхом візуального аналізу супутникових знімків із залученням інструкції з дешифрування даних Landsat, розробленої авторами системи класифікації земельних ресурсів CORINE та іншої фахової літератури [6, 9]. Керуючись цими джерелами інформації, до класу "3.1.1 – широколистяні ліси" відносилися території, де домінує широколистяна рослинність. Основними дешифрувальними ознаками використовувались світло-зелений колір пікселів (при комбінації спектральних каналів "5-4-3") та текстура, характерна для територій, вкритих деревною рослинністю. До категорії "3.1.2 – хвойні ліси" відносилися території, вкриті хвойними породами дерев, які на супутникових знімках вирізнялися темнішим відтінком зеленого кольору. До категорії "3.1.3 – мішані ліси" відносилися території, де неможливо чітко встановити домінування широколистяних або хвойних порід дерев. Варто зазначити, що категорія мішаних лісів у системі класифікації CORINE не відповідає за змістом поняттю "мішані ліси" у географічному розумінні. Так до категорії "3.1.3 – мі-

шані ліси" можуть відноситися території, які складаються з однорідних ділянок широколистяних і хвойних дерев, загальна площа яких не перевищує 25 га.

Категорія "5.1 – внутрішні води" за системою класифікації CORINE складається з двох підкатегорій: "5.1.1 – річки, канали" та "5.1.2 – озера, ставки". Розподіл цих підкатегорій в автоматизованому режимі неможливий з огляду на абсолютну подібність спектральних характеристик водних об'єктів, що до них входять. Тому пікселі для еталонних класів обиралися як з поверхні річок, так з озер і ставків. За основні дешифрувальні ознаки використовувались однорідна текстура та блакитний колір, притаманні для водних об'єктів у комбінації спектральних каналів "5-3-4" та "4-5-1".

Після формування п'яти еталонних класів розпочався процес їх аналізу та редагування. Для цього використовувались інструменти "Show Histograms" та "Show scatterplots", доступні через інтерфейс вікна "Training Sample Manager". Ці інструменти дозволили переглянути співвідношення спектральних характеристик еталонних класів у різних каналах (у вигляді гістограм та діаграм розсіювання) і визначити пікселі, які варто з них виключити. В процесі редагування класів використовувались інструменти: "Merge training samples", "Split training samples" та "Select training sample". Завершивши редагування еталонних класів, вони були збережені у форматі шейп (формат \*.shp) за допомогою інструменту "Save training samples". Окрім цього інструментом "Create a signature file" еталонні класи перетворено до файлу сигнатур (формат \*.gsg).

На основі файлів сигнатур, створених для кожного з опрацьованих супутникових знімків, здійснювалась автоматизована класифікація. Для цього використовував-

ся інструмент "Maximum Likelihood Classification", в основі алгоритму якого лежить спосіб класифікації за максимальною правдоподібністю. Вхідними даними для цього інструменту слугують растрові зображення та файл сигнатур з еталонними класами, на виході ж отримується класифікований растр. Додатковими параметрами може вказуватись максимально допустимий відсоток некласифікованих пікселів (reject fraction), метод апріорного аналізу растру (a priori probability weighting) та назва і каталог для збереження растру достовірності класифікації (confidence raster).

Інструмент "Maximum Likelihood Classification" був послідовно застосований для всіх супутникових знімків, для яких формувалися еталонні класи. В процесі класифікації використовувалися різні варіанти налаштування цього інструменту і визначено, що найкращі результати класифікації отримуються при використанні налаштувань за "замовчуванням". Шляхом виконання класифікації отримано ряд растрових зображень, які покажуть земельний покрив Чернівецької області станом на 1989 та 2010 роки. Кожен з растрів складається з п'яти окремих класів пікселів, сформованих відповідно до використаних еталонних класів.

Останній етап автоматизованої класифікації з навчанням передбачає виконання ряду операцій з подальшої обробки (здійснюється в діалоговому режимі), що включають у себе фільтрацію, згладжування і генералізацію результатів класифікації. Ці операції виконуються з метою полегшення інтерпретації результатів класифікації, виключення невірної класифікованих пікселів та покращення загального вигляду класифікованих растрів. Доступ до цих операцій здійснюється через розділ "Generalization" модуля ArcGIS "Spatial Analyst".

Для фільтрації результатів класифікації використовується інструмент "Majority Filter", принцип роботи якого полягає у присвоєнні пікселю значень суміжних комірок растру за умови, що ці значення відрізняються від значення пікселя. Застосування інструменту дозволяє виключити "самотні" комірки, розташовані серед однорідно класифікованих масивів пікселів, що суттєво покращує візуальне сприйняття та загальну якість класифікованого растру.

Згладжування меж класифікованих категорій здійснюється за допомогою інструменту "Boundary Clean" та досягається шляхом зміни значень пікселів, які межують з іншими категоріями растру.

Генералізація класифікованих растрів необхідна для виключення з них відносно невеликих масивів пікселів, які погіршують вигляд растру та ускладнюють процес його подальшого аналізу. Вона виконувалась у декілька кроків. Спочатку інструментом "Region Group" визначалися групи пікселів, що належать до однакових категорій та межують один з одним, у результаті аналізу яких визначено, що всі групи, які складаються менш ніж з 20 пікселів у переважній більшості випадків є результатами невірної класифікації і відповідно повинні бути виключені з растру. Це виключення здійснювалось шляхом застосування інструменту "Set Null", у параметрах якого вказувалось, що потрібно очистити значення для комірок, які входять до груп з кількістю пікселів менше двадцяти. У результаті отримано маску, що містила пікселі, значення яких необхідно прибрати. Вона використовувалась як вхідний параметр для інструменту "Nibble", що дозволяє замінити значення комірок растру, які потрапляють під маску на значення суміжних комірок. Виконання наведених операцій дозволило присвоєвати значення суміжних комірок для усіх груп, що склалися менш ніж з 20 пікселів.

Після завершення процесу подальшої обробки класифіковані растри конвертувалися у векторні об'єкти шляхом застосування інструменту "Raster to Polygon", доступного за шляхом "ArcToolbox→Conversion Tools→From Raster". Ці векторні шари об'єднувались між собою інструментом просторового аналізу "Union" ("ArcToolbox→Analysis Tools→Overlay"). Після об'єднання до бази даних імпортовано два векторних шари (елементи змісту), які містять межі категорій земельного покриття та землекористування станом на 1989 та 2010 роки. Ці два елементи змісту у подальшому будуть доповнені даними, отриманими у результаті інтерактивного дешифрування всіх інших категорій земельного покриття та землекористування, представлених у системі класифікації земельних ресурсів CORINE.

Всі етапи автоматизованої класифікації з навчанням моделювалися засобами програми ModelBuilder, що входить до програмного пакету ArcGIS (рис. 1). Отримана модель за потреби може використовуватись для класифікації будь-яких інших даних ДЗЗ. Це досягається завдяки можливості конвертації її у програмний код на мові Python та зміни каталогів, у яких містяться вхідні дані.

Виконавши автоматизовану класифікацію окремих категорій земельного покриття Чернівецької області за системою класифікації CORINE, отримано два векторні шари, які відображують стан земельного покриття на 1989 та 2010 роки. Оскільки така класифікація здійснювалась лише для категорій земельного покриття, що вкриті лісовою рослинністю та водними об'єктами, то очевидно є необхідність дешифрування усіх інших категорій земельного покриття, представлених у системі класифікації земельних ресурсів CORINE. Основною методикою при цьому обрано ручне програмно-кероване дешифрування категорій земельного покриття за основними ознаками дешифрування (тон, форма, розміри, структура, текстура, і. т. д.) у середовищі програмного продукту ArcGIS.

Ручне дешифрування виконувалось за знімками супутника Landsat 5, а також залучалися ряд додаткових даних ДЗЗ та картографічних матеріалів, що містять інформацію про земельні ресурси Чернівецької області. Як основні інструменти для здійснення дешифрування категорій земельного покриття використовувалися інструменти панелі створення нових об'єктів (Create Features): "Polygon" (побудова нових полігонів) та "Auto Complete Polygon" (автоматичне доповнення вже існуючих полігонів). У таблицю атрибутів створених полігональних об'єктів одразу прописувалось кодове позначення категорії земельного покриття за системою класифікації CORINE. Відповідно до цих кодів кожній з категорій земельного покриття призначався власний колір (кольори всіх категорій чітко визначені в технічній документації системи класифікації CORINE).

Всього в інтерактивному режимі виконувалось дешифрування 17 категорій земельного покриття (3 рівень системи класифікації земельних ресурсів CORINE). Ряд категорій земельного покриття системи класифікації CORINE відсутні на території Чернівецької області (наприклад, "1.2.3 – порти", "3.3.5 – льодовики та вічні сніги", "5.2.1 – лагуни") і відповідно не використовувалися у дослідженні. Також частина категорій земельного покриття, хоч і присутня на території області, але їх окремі елементи займають площу, меншу за 25 га і, відповідно до вимог системи класифікації CORINE, не повинні використовуватись у процесі дешифрування. До таких категорій відносяться наприклад: "1.3.2 – будівельні майданчики", "1.3.3 – звалища", "3.3.4 – гарі". Тому далі логічно буде коротко розглянуто особливості дешифрування тільки тих категорій, які були виділені на території Чернівецької області.

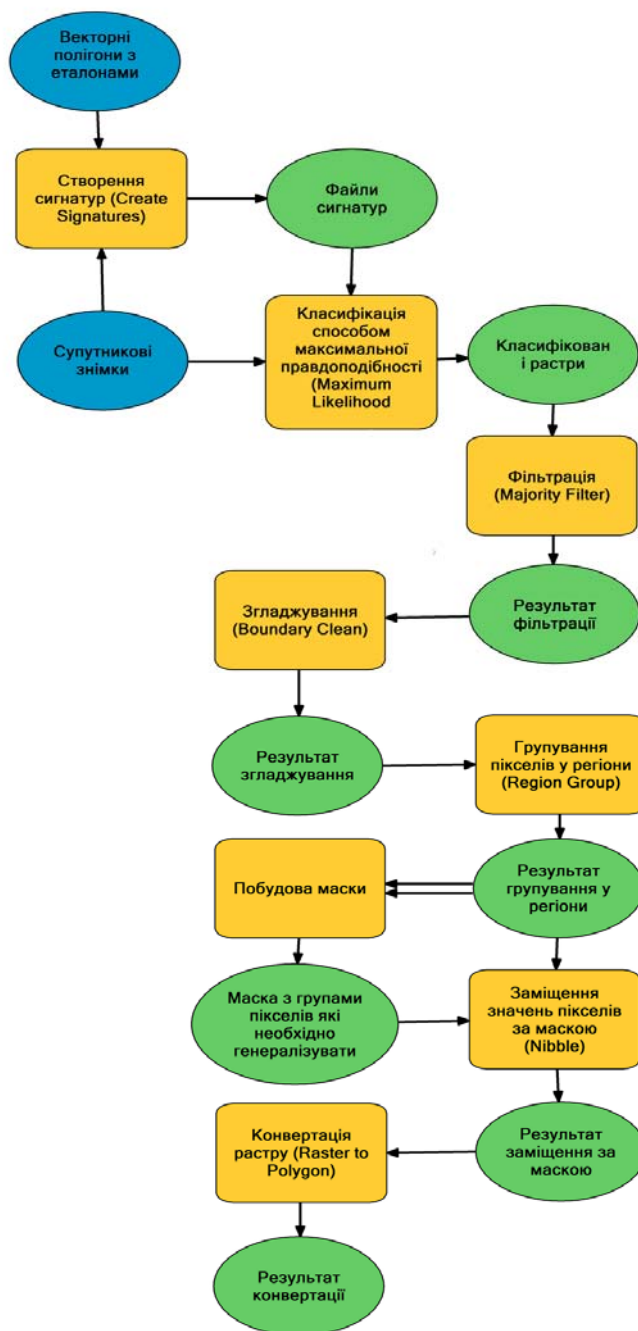


Рис. 1. Алгоритм автоматизованої класифікації з навчанням

Категорія "1.1.1 – суцільна міська забудова" включає всі території, понад 80% земельного покриття яких складають будівлі, дороги та інші штучні поверхні. Дешифрування виконувалось за темно-синім кольором, характерним для забудованих територій у комбінації спектральних каналів "4-5-1", а також за характерною текстурою, що формується мережею вулиць.

До категорії "1.1.2 – несуцільна міська забудова" входять території, що включають як елементи забудови (можуть займати від 50% до 80% від загальної площі), так і рослинність та сільськогосподарські угіддя. Вони виявлялися за характерною строкатою структурою та правильними геометричними контурами, що формуються мережею вулиць.

Допоміжними джерелами для дешифрування цих категорій використовувались базові набори регіональ-

ної інфраструктури просторових даних, що містять інформацію про межі населених пунктів. Сюди відносяться також околиці міст та селищ, які характеризуються нещільною забудовою, а також території переважної більшості сіл.

За спектральними характеристиками категорія "1.2.1 – промислові та комерційні будівлі" є подібною до суцільної міської забудови. Дешифрування виконувалось за формою та структурою територій, зайнятих промисловими та комерційними будівлями (вони мають правильні контури і займають відносно невелику площу). Значна частина земель цієї категорії розташована на околицях сільських населених пунктів.

До категорії "1.2.2 – дороги, залізниці та прилеглі до них території" за системою класифікації CORINE відноситься як дорожня мережа, так і лісосмуги, що можуть її

оточувати. При дешифруванні рекомендовано враховувати тільки дороги і залізниці, ширина яких перевищує 100 метрів, тому значна частка доріг Чернівецької області не потрапила у цю категорію. Основною дешифрувальною ознакою стала витягнута форма доріг, а також додатково залучався базовий набір просторових даних з дорожньою мережею.

Категорія землекористування "1.2.4 – аеропорти" виділена з огляду на важливість повітряного транспорту в інфраструктурі будь-якого регіону. На території Чернівецької області розташований єдиний діючий аеропорт Чернівці. Дешифрування виконувалось за світло-синім кольором (комбінація каналів "4-5-1") та видо-вженою формою злітної-посадкової смуги.

До категорії "1.3.1 – території, призначені для видобутку корисних копалин" відносяться кар'єри тощо, де виконується добування корисних копалин відкритим способом. Їх дешифрування досить просте з огляду на суттєвий контраст, який вони утворюють, порівняно з іншими категоріями земельного покриву. Зокрема, вирізняються спектральні характеристики територій, призначених для видобутку корисних копалин (яскравий, світло-рожевий відтінок у комбінації спектральних каналів "5-4-2") та їх структура (неоднорідна). На території Чернівецької області є незначна частина земель цієї категорії (найбільшу площу займає кар'єр поблизу села Розкопінці Сокирянського району).

Категорію "1.4.1 – парки та сквери" утворюють території парків, скверів та інших зелених зон, розміщених у межах населених пунктів, а також землі кладовищ. За спектральними характеристиками ця категорія подібна до категорій земельного покриву, що включають у себе лісову рослинність. Тому процес дешифрування передбачав виявлення територій з лісовою рослинністю у межах населених пунктів та переведення їх у категорію "1.4.1 – парки та сквери". Для забезпечення виявлення цих територій використовувались такі допоміжні джерела інформації як дані аерофотознімання, а також текстові дані про розташування парків і скверів на території області.

До категорії "2.1.1 – незрошувані орні землі" відносяться землі, які використовуються для вирощування зернових, бобових, кормових та інших сільськогосподарських культур, а також території під перелогами. На даних ДЗЗ землі цієї категорії представлені у вигляді мозаїки полів переважно прямокутної або квадратної форми, середні розміри яких становлять 60–70 гектарів. Їх кольори у комбінації спектральних каналів "5-4-3" варіюються від рожевого до зеленого відтінку. Землі цієї категорії є найпоширенішими на території Чернівецької області, зокрема до них відносяться землі колишніх колгоспів.

Категорія "2.2.2 – сади та плантації ягід" характеризується територіями, засадженими фруктовими деревами та ягідниками. В комбінації спектральних каналів "5-4-3" її землі набувають світло-коричневого або світло-зеленого кольору. Оскільки за спектральними характеристиками сади та плантації ягід досить подібні до інших категорій сільськогосподарських земель, то у процесі дешифрування також використовувались топографічні карти та матеріали аерофотознімання. Найбільші площі земель цієї категорії були виділені на територіях Хотинського та Сокирянського районів.

До земель "2.3.1 – пасовища" відносяться території, вкриті трав'яною рослинністю і використовуються для випасання худоби. За спектральними характеристиками землі цієї категорії подібні до категорії "2.1.1 – незрошувані орні землі", але мають дещо темніший відтінок. Форма пасовищ, як правило, є неправильною, а їх середній розмір становить приблизно 90 гектарів. Для полегшення дешифрування меж цієї категорії земель-

них ресурсів залучались такі додаткові джерела інформації як землепорядні плани масштабу 1:10 000 та дані аерофотознімання. На основі цих додаткових даних, а також аналізу близькості до населеного пункту і рельєфу території визначалися межі.

Категорію "2.4.2 – складні зразки культивування" утворюють території, вкриті невеликими ділянками з однорічними культурами, пасовищами або багаторічними насадженнями. За кольорами у комбінації спектральних каналів "5-4-3" вони варіюються від рожевого до зеленого та мають досить строкату структуру. Основна особливість земель цієї категорії полягає у їхній парцельності, тобто вони формуються із земельних ділянок невеликих розмірів (площею до 1–2 гектарів). У часовому проміжку з 1989 до 2010 років спостерігається значне зростання таких земель навколо сільських населених пунктів, що можна пояснити проведенням земельної реформи.

До категорії земельних ресурсів "2.4.3 – сільськогосподарські землі зі значними територіями, вкритими природною рослинністю" відносяться території, де площі сільськогосподарських угідь складають 25–75 % від загальної площі і не можуть бути чітко відділені від природної рослинності (лісової або чагарникової). За спектральними характеристиками такі землі мають складну і строкату структуру (кольори варіюються у широких межах від світло-зелених до темно-жовтих відтінків). Джерелами інформації для дешифрування крім супутникових знімків також використовувалась цифрова модель рельєфу з огляду на те, що значна частина таких територій розміщена у горбистій місцевості (зокрема, у передгір'ях Карпат).

Категорія "3.2.1 – луки (природні пасовища)" включає території, вкриті трав'яною рослинністю, яка майже не використовується у сільськогосподарському виробництві. За спектральними характеристиками природні пасовища подібні до категорії "2.3.1 – пасовища", але на відміну від неї розташовуються у слабо-заселеній місцевості. Окрім цього для лук характерна нерівна форма та значні вкраплення лісової і чагарникової рослинності. На території області значна частина земель цієї категорії розташована у гірській місцевості та передгір'ях.

До категорії "3.2.4 – чагарники" відносяться території з чагарниковою рослинністю, яка поступово переходить у лісову. За спектральними характеристиками вона дещо світліша за лісову рослинність і має неоднорідну структуру. Її також утворюють території з вирубанними лісами, які поступово почали заростати чагарниковою та лісовою рослинністю, а також всі інші території, що не були класифіковані як ліси, але містять значну кількість деревної рослинності.

Категорію "4.1.1 – болота" утворюють землі, для яких характерне надмірне зволоження протягом більшої частини року. Вона відображується світло-зеленими та світло-коричневими кольорами в комбінації спектральних каналів "5-4-3". Однією з важливих дешифрувальних ознак є те, що категорія боліт розташовується у низинній місцевості та біля водних об'єктів. Тому додатковими джерелами інформації для забезпечення адекватного дешифрування використовувались топографічні карти, базові набори просторових даних з гідрографічною мережею та цифровою моделлю рельєфу.

До категорії "5.1.1 – річки, канали" відносяться річки та канали, мінімальна ширина яких становить 100 метрів. Оскільки дешифрування водних об'єктів виконувалось на основі автоматизованого алгоритму, то їх елементи підлягали тільки уточненню. Зокрема, за даними топографічних карт та базовими наборами просторових даних з гідрографічною мережею визначалося, які розпізнаних водних об'єктів відносяться до річок і каналів.

Таким об'єктам присвоювався атрибут "річки, канали". З урахуванням обмеження ширини об'єктів, які повинні відноситись до цієї категорії (не менше 100 метрів), на території області до неї було віднесено тільки найбільші річки (Дністер, Прут, Сірет, Черемош).

Категорію "5.1.2 – озера, ставки" утворюють площинні водні об'єкти з площею не менше ніж 25 гектарів. Усім елементам земельного покриву, які у результаті автоматизованої класифікації були визначені як водні об'єкти, але у результаті уточнення не були віднесені до категорії "5.1.1" був присвоєний атрибут "озера, ставки". Використовуючи дані аерофотознімання та базові набори просторових даних з гідрографічною мережею, додатково було виконано уточнення меж цих водних об'єктів.

У результаті автоматизованого та ручного дешифрування отримано два полігональних шари з межами категорій земельного покриву Чернівецької області за системою класифікації земельних ресурсів CORINE станом на 1989 та 2010 роки. Ці шари були відображені засобами ArcGIS, а також експортовані у вигляді цифрових растрових зображень масштабу 1:100 000.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У рамках проведення практичного етапу дослідження земельних ресурсів Чернівецької області шляхом геоінформаційного картографування на основі даних ДЗЗ були сформульовані методичні особливості дешифрування даних ДЗЗ за системою класифікації CORINE. Зокрема, виявлено, що оптимальним підходом до дешифрування за вказаною системою класифікації є використання комбінованої методики, що включає алгоритми автоматизованої та ручної обробки супутникових знімків. Також встановлено, що інструментарій ГІС ArcGIS у повній мірі забезпечує можливості виконання подібних робіт.

Кінцевим результатом виконання дешифрування стали векторні шари з межами категорій земельного покриву станом на 1989 та 2010 роки. У подальшому вони можуть стати основою для ґрунтового аналізу змін структури земельних ресурсів області за два останні десятиліття, а також використовуватись для відображення структури її земельного покриву. Окрім

цього розроблена методика може бути удосконалена шляхом залучення складніших алгоритмів автоматизованої класифікації та використанням супутникових знімків високої і надвисокої роздільної здатності.

#### Список використаних джерел

1. Бродский Л. Проект INTAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы / Л. Бродский, Е. И. Бушуев, В. И. Волошин и др. // Космична наука і технологія. – 2009. – № 2 (т. 15). – С. 36–48.
2. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
3. Смирнов Я. В. Аналітичний огляд європейських систем класифікації земельних ресурсів / Я. В. Смирнов // Географія та туризм : наук. зб. / ред. кол. : Я. Б. Олійник (відп. ред.) та ін. – К. : Альтерпрес, 2012. – Вип. 22. – С. 290–299.
4. Смирнов Я. В. Сучасний стан і перспективні напрями картографування земельних ресурсів на основі даних дистанційного зондування Землі / Я. В. Смирнов // Наук. вісн. Волин. ун-ту ім. Л. Українки. Географічні науки. – Луцьк : ПБВ "Вежа", – 2012. – № 9. – С. 52–57. – (Серія: географія).
5. Aitkenhead M. J. Evaluating Neural Networks and Evidence Pooling for Land Cover Mapping / M. J. Aitkenhead, S. Flaherty, M. E. J. Cutler // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2008. – Vol. 74, № 8. – P. 1019–1032.
6. CORINE Land Cover Legend [Електронний ресурс] European Topic Centre on Spatial Information and Analysis. – Режим доступу : [http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006/CLC\\_Legend.pdf](http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006/CLC_Legend.pdf).
7. Kuemmerle T. Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique / Tobias Radeloff Kuemmerle, Volker C. Perzanowski, Kajetan Hostert Patrick // Remote Sensing of Environment. – 2006. – Vol. 103, iss. 4. – P. 449–464.
8. Fuzzy Reliability Assessment of Multi-Period Land-cover Change Maps / K. Lowell, G. Richards, P. Woodgate, S. Jones, L. Buxton // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2005. – Vol. 7, № 8. – P. 939–945.
9. Schowengerdt R. A. Remote Sensing: Models And Methods for Image Processing / R. A. Schowengerdt. – London : Academic Press, 2006. – 515 p.
10. Stathakis D. Global Elevation Ancillary Data for Land-use Classification Using Granular Neural Networks / D. Stathakis, I. Kanellopoulos // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2008. – Vol. 74, №1. – P. 55–63
11. Remote Sensing Change Detection Based on Canonical Correlation Analysis and Contextual Bayes Decision / L. Zhang, M. Liao, L. Yang, H. Lin // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2007. – Vol. 73, №3. – P. 311–318.

Надійшла до редколегії 12.04.14

Э. Бондаренко, д-р геогр. наук, Я. Смирнов, асп.  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЧЕРНОВИЦКОЙ ОБЛАСТИ

*Сформулировано методику автоматизированного и ручного дешифрирования данных спутников семейства Landsat на основе системы классификации земельных ресурсов CORINE. Определены основные спектральные характеристики категорий земельного покрова территории Черновицкой области. Построены векторные полигональные слои с границами категорий земельного покрова региона состоянием на 1989 и 2010 года.*

*Ключевые слова: дистанционное зондирование, классификация изображений, ГИС, земельные ресурсы, земельный покров, землепользование, CORINE.*

E. Bondarenko, Dr.Sc. in Geography, Y. Smirnov, Graduate  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

### METHODICAL FEATURES OF DATA INTERPRETATION OF REMOTE SENSING FOR GEOINFORMATION MAPPING OF CHERNIVTSI REGION LAND RESOURCES

*Formulated automated and manual techniques of Landsat data interpretation on the basis of CORINE land resources classification system. Defines the main spectral characteristics of the land cover categories in the Chernivtsi region. Constructed vector polygonal layers with boundaries of land cover categories in region for the years 1989 and 2010.*

*Keywords: remote sensing, image classification, GIS, land resources, land cover, land use, CORINE.*