УДК 528.46:711.14

# МЕТОДИКА ДВОЕТАПНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛІСІВ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ВИСОКОГО РОЗРІЗНЕННЯ

**Х. Бурштинська, Ю. Денис, Ю. Мадяр, Б. Поліщук**
Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** контрольована класифікація, дивергенція, роздільність класів, достовірність, навчальні вибірки.

## Постановка проблеми та аналіз літератури

Охорона та використання лісових ресурсів в Україні регулюється лісовим законодавством. Основним законом України про ліси й ведення господарства в них є Лісовий кодекс, прийнятий у 1994 р.

У 2002 р. Уряд України ухвалив Державну програму “Ліси України на 2002–2015 рр.”. Головна мета програми – забезпечити сталий розвиток лісового господарства, спрямований на посилення екологічних, соціальних та економічних функцій лісів України [17].

Ліси змінюються під впливом як природних процесів, так і антропогенних чинників. Важлива екологічна роль належить лісам у захисті від ерозії, регулюванні клімату, створенні умов для оздоровлення і відпочинку людей. Тому шкода, заподіяна лісам внаслідок неефективного господарювання, може призвести до екологічної катастрофи. Зокрема, у липні 2008 р. сталася найбільша в історії Західної України за останні 60 років повінь, загальні збитки внаслідок якої оцінюють у 3–4 млрд грн [13, 15].

Однією з істотних причин цього явища фахівці вважають масове вирубування лісів у Карпатах, які могли б забрати значну частину дощової води [14].

Корпорація Google презентувала проект GlobalForestWatch (http://www.globalforestwatch.org), розроблений спільно з Інститутом світових ресурсів і ще 40 організаціями, за допомогою якого в режимі реального часу можна стежити за вирубуванням лісів на всій планеті. Мапа на сайті проекту формується на основі фотографій із супутників NASA. Алгоритми обробки зображень дають змогу детально підрахувати обсяги втрачених і нових лісів на кожній території та в кожній країні щорічно.

Загальні втрати площ лісів України за 2000–2013 рр. досягли 565,6 тис. га, приріст за 2000–2012 рр. – 352,9 тис. га [16].

Однією з головних проблем лісового господарства є застарілість технології обліку та картографування лісів, нестача тематичної картографічної інформації щодо стану лісів та відсутність систематичного та ефективного їх моніторингу.

Моніторинг лісів – це система регулярних спостережень, оцінювання та аналізування інформації про стан лісів та прогнозування його змін з метою забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень щодо сталого управління лісами. Моніторинг є складовою частиною системи інформаційної підтримки управління лісами.

У світовій практиці в основу методів моніторингу лісів з метою об’єктивного отримання інформації про їхній стан, а також динаміку змін та ефективний прогноз розвитку покладено системний підхід, головна складова якого – аерокосмічні спостереження. Величезні можливості відкрили космічні супутникові системи в забезпеченні достовірності, оперативності та періодичності вимірювань, пов’язаних із дослідженням стану лісового покриву та динаміки його змін [1, 6].

Однією зі складових картування лісів є класифікація. Класифікація – процедура комп’ютерного дешифрування знімків, яка полягає у автоматичному поділі всіх пікселів знімка на групи (класи), які відповідають різним об’єктам. Під час попередніх досліджень [9, 10] встановлено, що автоматизоване визначення площ різних типів об’єктів з використанням алгоритмів контрольованої класифікації залежить від щільності покриття ними земної поверхні, впливу підстильної поверхні. Крім того, виділений полігонний об’єкт, напр. “листяний ліс”, містить більшою або меншою мірою інші об’єкти (кущі, трав’яну рослинність, хвойні дерева тощо). Класифіковане зображення відповідає реальному, однак не дає змоги автоматизовано виміряти площу з домінантним видом рослинності. Така обставина – істотна перешкода для розв’язання завдань лісівництва, серед яких одним з головних є визначення площ земної поверхні, покритих лісовою рослинністю [11].

Дані дистанційного зондування Землі високого розрізнення необхідні для служб організації лісовикористання, для яких характерні два напрями: перший – картування і моніторинг пошкоджень лісу (вирубки, лісові пожежі, інші пошкодження), другий – оновлення національних баз даних і геоінформаційних систем з моніторингу лісів і лісового господарства. Вихідні продукти цих служб подають у вигляді карт вирубок і карт лісовідновлення, карт лісового покриву, карт типів лісу, карт віку лісу [7, 8].

У [2] автори розглядають методичні особливості опрацювання космічного знімка GeoEye на основі методу контрольованої класифікації з метою визначення видового складу лісових деревостанів для полігона в Східному Поліссі України.

Особливості задач тематичного картування з використанням аерокосмічних зображень розглянуто в [3, 4]. У роботі [3] сформульовано та проаналізовано проблеми автоматизованої інтерпретації аерокосмічних зображень, показано перспективність розроблення підходів до інтерпретації зображень з використанням принципів непараметричних статистик.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У [5, 6] вказано, що визначення площ лісів за даними ДЗЗ пов'язано з точністю отриманих зображень. Запропоновано як тестовий матеріал використовувати карти та джерела наземної інформації.

Головними для автоматичної класифікації лісів є методи контрольованої та неконтрольованої класифікації. В [6, 12] вказано на особливості класифікації за використання космічних знімків високого розрізнення, зокрема на те, що більшість алгоритмів контрольованої класифікації для широких класів, які охоплюють різноманіття яскравісних і спектральних ознак об'єктів, часто призводять до переплутування їх під час класифікації. Автори вважають, що технологічно два методи за складністю фактично однакові, але за контрольованої класифікації необхідно ретельно формувати навчальні вибірки.

**Виклад основного матеріалу та результати досліджень.**

***Технологічна схема досліджень.*** Завданням дослідження є аналіз та визначення площ об'єктів, виконаних за космічним знімком QuickBird-2 на територію Прикарпатського регіону. Технологічну схему класифікації та визначення площ подано на рис. 1.

*Рис. 1. Технологічна схема контрольованої класифікації та визначення площ класів*

***Вибір класів.*** Постановка завдання передбачає інтерпретацію об'єктів, які необхідно дешифрувати на зображенні. Домінантними під час їх вибору, а тим самим і вибору класів об'єктів, є властивості знімка: кількість каналів знімальної системи, просторова розрізненність, радіометрична розрізненність тощо. За використання як метрики контрольованої класифікації необхідно задати еталони об'єктів (сигнатури), які представляють клас розпізнавання.

Як правило, еталони визначаються на підставі даних польових спостережень, які потрібно проводити о тій самій порі року, що і знімання. Додатково джерелами для вибору еталонів можуть бути тематичні карти, знімки вищої розрізненності, звітні матеріали тощо. В найпростішому випадку як еталони вибирають об'єкти на знімках, що легко ідентифікуються.

Еталони визначають якість навчальної вибірки та, як наслідок, точність контрольованої класифікації. Тому під час визначення еталонних ділянок тематичних класів на знімку ми врахували такі вимоги [12]:

– кількість пікселів, що увійшли до еталонних ділянок, повинна становити 1–5 % всіх пікселів знімка. Загалом рекомендується для кожного класу використовувати в 10–100 разів більше пікселів, ніж є спектральних зон на знімку;

– площу ділянки визначають так, щоб вона містила точну та надійну інформацію про тематичний клас. Разом з тим, її площа не повинна бути занадто великою, оскільки у такому разі зростає ймовірність небажаних варіацій значень;

– кількість еталонних ділянок залежить від кількості об'єктів, що розпізнаються, їх різнорідності та додаткових інформаційних джерел, які застосовуються для визначення еталонів. Як правило, для кожного класу сформовано п'ять–шість еталонних ділянок для урахування просторової та спектральної мінливості об'єктів всередині кожного класу.

Формувати декілька ділянок для одного класу корисно ще і тому, що деякі з них в майбутньому можуть бути вилучені з аналізу. Також варто зазначити, що краще використовувати велику кількість еталонних областей малого розміру, ніж незначну кількість великих за площею еталонів.

***Роздільність класів.*** Одна з перших мір статистичної роздільності класів, яка використовується в розпізнаванні образів, – дивергенція [12]. Дивергенція зв'язана з відношенням правдоподібності $L_{ij}$ для двох класів $i$ та $j$:

$$L_{ij}(X) = \frac{p(X|\omega_i)}{p(X|\omega_j)}, \qquad (1)$$

Припустимо, що класи мають нормальну функцію щільності вірогідності:

$$p(X|\omega_i) = N(U_i, \Sigma_i),\ p(X|\omega_j) = N(U_j, \Sigma_j), \qquad (2)$$

де $N(U_i, \Sigma_i)$ – багатовимірна нормальна функція щільності з вектором математичного очікування $U_i$ (вектор середніх значень сигнатури $i$) і коваріаційною матрицею $\Sigma_i$ (коваріаційна матриця сигнатури $i$).

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Запишемо вираз для дивергенції, який містить математичне сподівання і коваріаційну матрицю:

$$D_{i,j} = \frac{1}{2} tr\left[\left(\Sigma_i - \Sigma_j\right)\left(\Sigma_j^{-1} - \Sigma_i^{-1}\right)\right] + \frac{1}{2} tr\left[\left(\Sigma_i^{-1} + \Sigma_j^{-1}\right)\left(U_i - U_j\right)\left(U_i - U_j\right)^T\right], \quad (3)$$

де $tr[A]$ – рейс-функція (функція сліду матриці); $A$ – сума діагональних елементів.

Транспонована дивергенція, яку найчастіше використовують як міру роздільності класів, визначається за формулою 4 [12]:

$$D^T{}_{i,j} = 2\left[1 - \exp\left(-D_{i,j}/8\right)\right]. \quad (4)$$

***Оцінка достовірності результатів класифікації.*** Класифікацію ДДЗ не можна вважати завершеною, доки не отримана оцінка її точності, яка визначає можливість застосування її результатів надалі. Основна мета такої оцінки – визначити, наскільки точно тематичні класи на знімку відповідають класам реальних об'єктів на земній поверхні. Перший крок – це візуальний аналіз результатів, під час якого дешифрувальник спирається на свої знання про територію для виявлення грубих помилок та невідповідностей класифікації. Після цього переходять до поглибленого кількісного оцінювання достовірності як міри узгодженості коректної тематичної інформації про деякі ділянки земної поверхні з тематичною інформацією, що характеризує ці самі ділянки на знімку.

Стандартною формою надання інформації для оцінки точності класифікації вважають матрицю похибок. На основі матриці похибок можна розрахувати низку кількісних показників, найпоширенішими з яких є достовірність класифікації та каппа-індекс.

Вхідним матеріалом для дослідження слугував космічний знімок, отриманий оптико-електронною знімальною системою із супутника QuickBird-2 (червень 2010 р.) на ділянку лісу в Яворівському районі Львівської області. Ця космічна система дає зображення в п'яти спектральних діапазонах (панхроматичний, синій, червоний, зелений, ближній інфрачервоний). Розрізнювальна здатність системи QuickBird-2 – 0,61 м та 2,44 м.

На ділянці переважають хвойні та листяні ліси різного віку та порід, у північно-східній та східній частині знімка розташовані сільськогосподарські угіддя (городи) та населений пункт. Крім цього, знімок містить велику кількість вирубок, здійснених у різний час, а також угіддя з трав'янистою та кущовою рослинністю. Все це формує істотні зміни яскравісних характеристик об'єктів. Територія ділянки рівнинна, що дає змогу не враховувати вплив рельєфу на зображення.

Завірковою інформацією слугували дані, отримані під час польових досліджень, з поділом знімка на полігони і відповідним описом кожного з них з часовою інтерполяцією змін. Завіркову інформацію отримано в 2011 р.

Дані зібрані за такими показниками: загальна характеристика полігона (наприклад, зрілий хвойний ліс, неконтрольований поріст тощо); середня висота дерев; середня товщина стовбурів; середня відстань між деревами; відсоток породи виду, який переважає.

Встановлено, що рослинність вирубок різна, а це свідчить про те, що їх здійснено у різні періоди. На підставі завіркової інформації та візуального дешифрування виділено такі основні типи об'єктів: свіжі вирубки, не зарослі рослинністю; вирубки, вкриті трав'янистою рослинністю; вирубки, зарослі кущами; а також молоді насадження хвої, насадження листяних дерев та зрілі ліси: хвойний ліс, мішаний і листяний (рис. 2).

Знімок має прив'язку в картографічній системі WGS 84. Для опрацювання космічного знімка застосовано програмне середовище ENVI 4.5.

***Методика двоетапної класифікації та визначення площ об'єктів.*** Попередня обробка знімка передбачала синтезацію каналів та "маскування" хмар, городів (рис. 2). Для інтерпретації лісів застосовано комбінацію відповідно до відбивних здатностей об'єктів, вибрано інфрачервоний, червоний та зелений канали.

Як зазначено вище, в контрольованій класифікації важливим етапом є формування сигнатур. Для цього використано завіркову інформацію, отриману польовим методом.

У роботі застосовано полігональний спосіб формування начальних вибірок. Розміри еталонів становили від 100 до 400 пікселів для різних об'єктів.

Контрольовану класифікацію виконано методом максимальної вірогідності. Метод вибрано на підставі опрацьованої літератури [1, 6, 12] та попередніх досліджень [9, 10]. Результати класифікації подано на рис. 3.

Відкласифіковане зображення з поділом на вісім класів містить: свіжі вирубки; вирубки, вкриті трав'янистою рослинністю; вирубки, зарослі кущами; молоді хвойні насадження; листяні молоді насадження; хвойний ліс; мішаний ліс та листяний ліс.

Із попередніх досліджень [9, 10] встановлено, що молоді хвойні насадження корелюють з хвойними лісами, а молоді насадження листяних дерев – з листяними. Відповідно, помилка визначення площ, обчислених за даними завіркової інформації та за методом контрольованої класифікації, для деяких класів сягає 35–50 %. З високою точністю ідентифікуються лише свіжі вирубки.

На практиці часто роздільність класів аналізують, використовуючи як міру роздільності статистичний показник. У табл. 1 подано значення трансформованої дивергенції, розрахованої за формулою (4).

З літературних джерел [12] відомо: якщо значення роздільності класів за методом трансформованої дивергенції (Transformed Divergence) менше за 1 ($D$<1), то класи нероздільні, якщо D визначається в межах (1; 1,5) – класи малороздільні; $D$ [1,5; 1,8) – класи роздільні; $D$ [1,8; 2] – класи добре розділяються.

Отже, значення елементів матриці, яка характеризує роздільність класів за методом трансформованої дивергенції для класів "хвойні молоді насадження" та "хвойний ліс" становить 0,28, тобто ці класи нероздільні. Значення 0,82 мають класи "мішаний ліс" та "хвойні молоді насадження"; 0,78 – "листяний ліс" та "листяні молоді насадження"", що свідчить про малу їх роздільність.

Для того щоб уникнути кореляції між класами, необхідно застосувати складніші методи класифікації, зокрема класифікацію за декілька етапів. Звичайно для визначення відповідності тематичних класів на знімку класам реальних об'єктів використовують матрицю похибок (табл. 2).

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

*Таблиця 1*

**Матриця роздільності класів за методом трансформованої дивергенції**

| Клас | Свіжі вирубки | Вирубки, зарослі травою | Вирубки з кущами | Хвойні молоді насадження | Листяні молоді насадження | Хвойний ліс | Мішаний ліс | Листяний ліс |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Свіжі вирубки | 2,00 | 1,62 | 1,73 | 1,96 | 1,96 | 1,99 | 1,92 | 1,99 |
| Вирубки, зарослі травою | 1,62 | 2,00 | 1,38 | 1,82 | 1,94 | 1,97 | 1,82 | 1,97 |
| Вирубки з кущами | 1,72 | 1,38 | 2,00 | 1,79 | 1,35 | 1,97 | 1,59 | 1,83 |
| Хвойні молоді насадження | 1,96 | 1,82 | 1,79 | 2,00 | 1,92 | **0,28** | **0,82** | 1,72 |
| Листяні молоді насадження | 1,96 | 1,94 | 1,35 | 1,92 | 2,00 | 1,99 | 1,71 | **0,78** |
| Хвойний ліс | 1,99 | 1,97 | 1,97 | **0,28** | 1,99 | 2,00 | 1,13 | 1,66 |
| Мішаний ліс | 1,92 | 1,82 | 1,59 | **0,82** | 1,71 | 1,13 | 2,00 | 1,16 |
| Листяний ліс | 1,99 | 1,97 | 1,83 | 1,72 | **0,78** | 1,66 | 1,16 | 2,00 |

*Таблиця 2*

**Матриця похибок класифікації лісів, %**

| Клас | Вирубки, зарослі кущами | Хвойний ліс | Листяний ліс | Мішаний ліс | Свіжі вирубки | Вирубки трав'янисті | Листяні молоді насадження | Хвойні молоді насадження |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вирубки, зарослі кущами | 79,5 | 0,0 | 0,2 | 1,5 | 3,0 | 8,6 | 6,8 | 1,3 |
| Хвойний ліс | 0,0 | 77,6 | 2,2 | 12,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,0 |
| Листяний ліс | 0,8 | 2,1 | 82,2 | 8,7 | 0,0 | 0,0 | 7,4 | 1,2 |
| Мішаний ліс | 1,2 | 6,2 | 8,1 | 62,8 | 0,00 | 0,3 | 1,6 | 12,2 |
| Свіжі вирубки | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 92,2 | 0,9 | 0,00 | 0,00 |
| Вирубки трав'янисті | 7,2 | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 3,1 | 89,1 | 0,1 | 1,1 |
| Листяні молоді насадження | 9,4 | 0,0 | 6,7 | 1,3 | 0,0 | 0,1 | 84,0 | 0,7 |
| Хвойні молоді насадження | 1,1 | 14,0 | 0,5 | 12,5 | 0,0 | 1,0 | 0,1 | 70,5 |

***Достовірність класифікації*** – це частка правильно класифікованих пікселів від загальної кількості пікселів, що перевіряється. Для контрольованої класифікації достовірність становить $P$ = 81,6 %, а коефіцієнт $\kappa$ = 0,79. Достовірність класифікації мішаних лісів є найнижчою і становить 62,8 %, це пояснюється тим, що цей клас містить піксели, які за спектральними характеристиками відповідають і хвойним, і листяним лісам.

Наступний етап робіт передбачає застосування постласифікаційної обробки, яка покращать результат класифікації та визначення площ лісів.

***Постласифікаційна обробка зображення.*** Відкласифіковане зображення може містити неправильно класифіковані піксели та ділянки. За результатами класифікації через явище, яке характеризують як "сіль–перець" [10], площі об'єктів визначаються на підставі кількості пікселів з однаковими спектральними характеристиками. Поодинокі піксели або навіть їх групи в межах складного за кількістю об'єктів знімка істотно спотворюють результати визначення площ. Для того щоб їх покращити, виконують перекласифікацію пікселів. Ми використали інструмент Majority Analysis (Аналіз більшості). Він працює за принципом: центральному пікселу в околі присвоюється значення класу більшості з пікселів у цьому околі. Спочатку проведено дослідження, яке стосувалось вибору околу, в межах якого відбувається перекласифікація пікселів. За результатами порівняння площ лісів, отриманих із завіркової інформації та обчислених з перекласифікації пікселів, встановлено оптимальний окіл перекласифікації. Загалом досліджено околи розміром 15×15, 17×17, 19×19. Це дало можливість встановити, що окіл розміром 17×17 дає найменшу похибку у визначенні площ.

На рис. 4 подано результат постобробки.

Різниці площ лісів, отриманих із постласифікаційної обробки зображення та тестових площ, визначених за результатами цифрування ділянок з урахуванням завіркової інформації, подано в табл. 3.

*Таблиця 3*

**Різниці площ лісів за результатами постобробки**

| Типи лісів | Площі, обчислені за даними дешифрування знімка, га | Площі, обчислені на підставі постласифікації, га | Різниці площ, га | Розходження площ, % | Достовірність визначення площ, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Свіжі вирубки | 19,8 | 18,5 | 1,3 | 6,5 | **93,5** |
| Вирубки, зарослі кущами | 84,3 | 86,0 | 1,7 | 2,0 | **98,0** |
| Вирубки трав'янисті | 35,7 | 32,9 | 2,8 | 7,8 | **92,2** |
| Молоді листяні насадження | 106,3 | 112,6 | 6,3 | 5,9 | **94,1** |
| Хвойні молоді насадження | 42,6 | 38,5 | 4,1 | 9,6 | **90,4** |
| Мішаний ліс | 498,5 | 494,5 | 4,0 | 0,8 | **99,2** |
| Хвойний ліс | 487,4 | 445,0 | 39,7 | 8,1 | **91,9** |
| Листяний ліс | 1012,8 | 1014,8 | 2,0 | 0,2 | **99,8** |

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Посткласифіковане зображення містить піксели, які не були класифіковані, їм присвоєно чорний колір, і відповідно їхні площі не враховано під час обчислення площ лісів. Щоб позбутися цього дефекту, застосували інструмент *ClumpClasses*, оснований на морфологічних операторах.

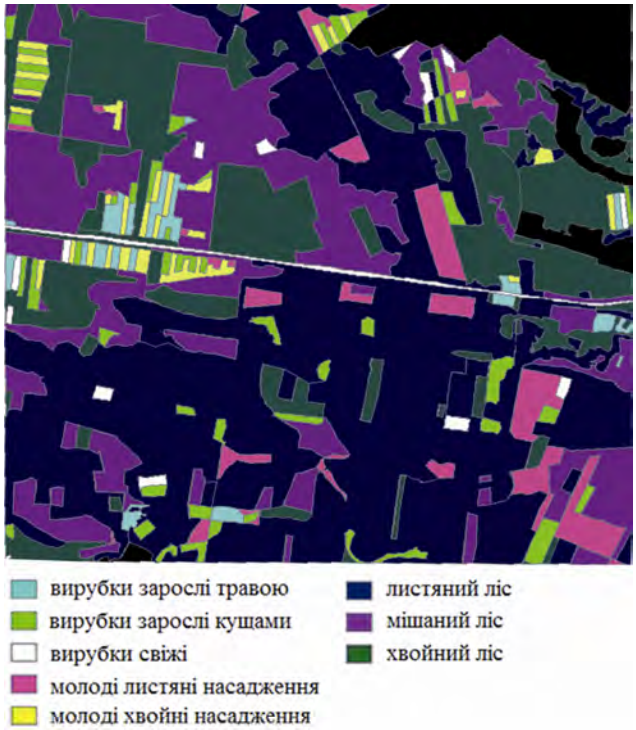



*Рис. 2. Зображення з поділом на вісім класів*

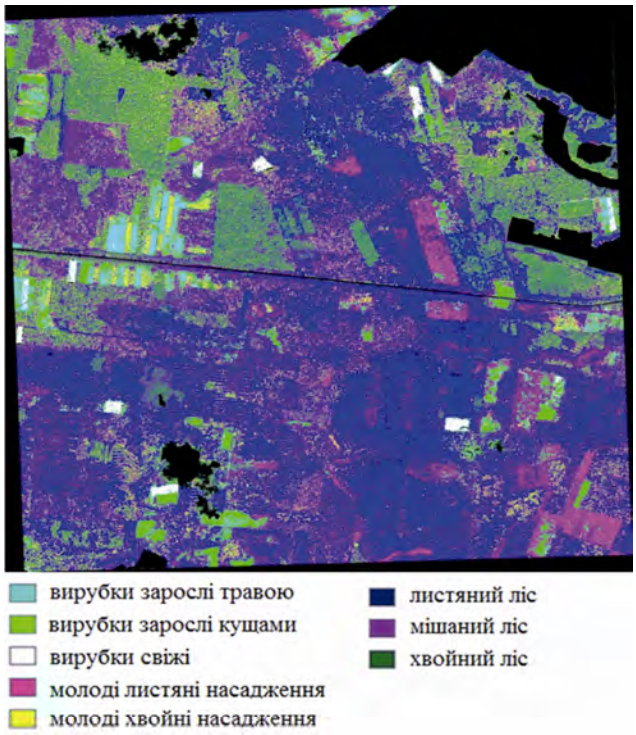



*Рис. 3. Відкласифікований знімок за методом контрольованої класифікації за алгоритмом максимальної вірогідності*

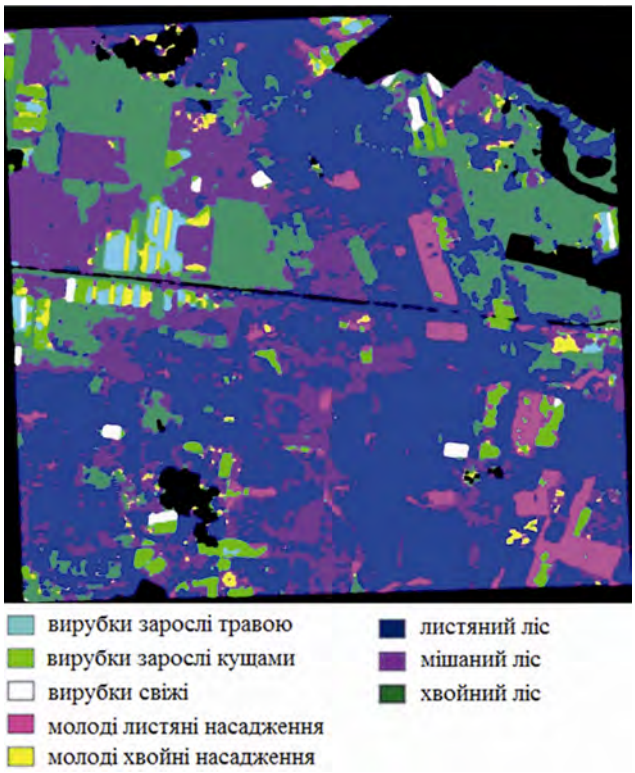



*Рис. 4. Результати постклasифікаційної обробки зображення з використанням інструменту Majority Analysis*

***Застосування двоетапної класифікації для визначення площ лісів.*** Для дослідження використаємо той самий космічний знімок високого розрізнення QuickBird-2. Класифікація в два етапи передбачає накладання лісових масок на синтезований знімок і проведення класифікації та постобробки. На рис. 5 подано знімок з накладеною маскою для класифікації тільки зрілого лісу.

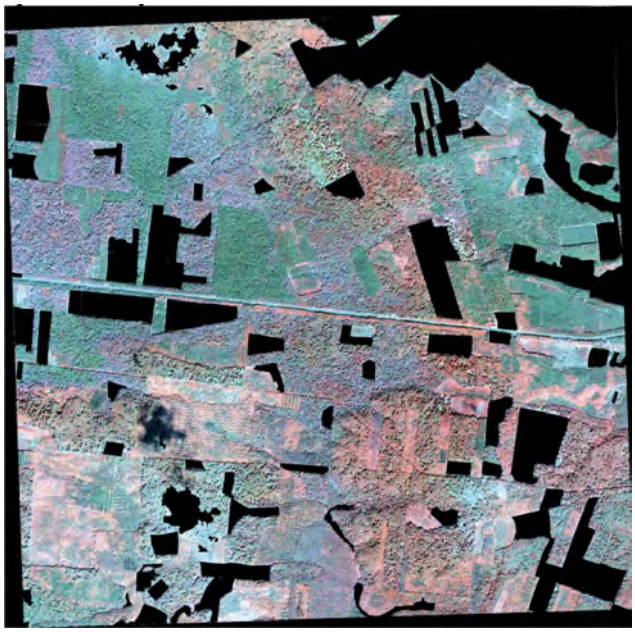
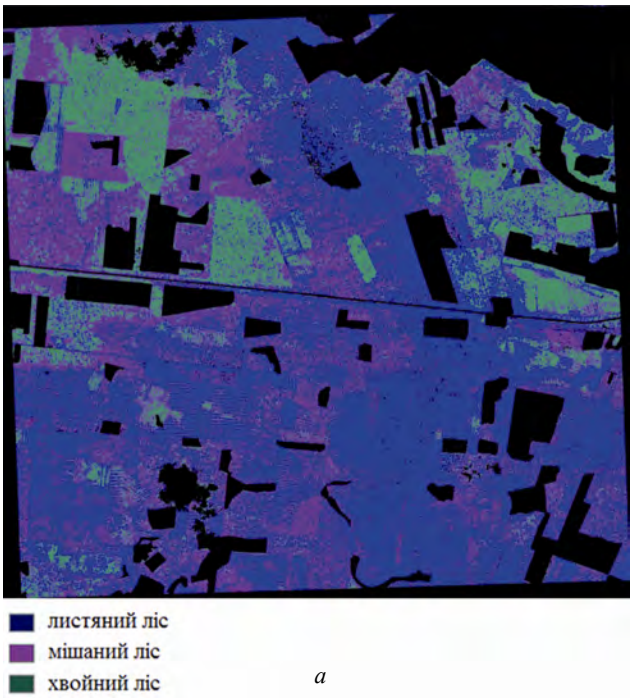
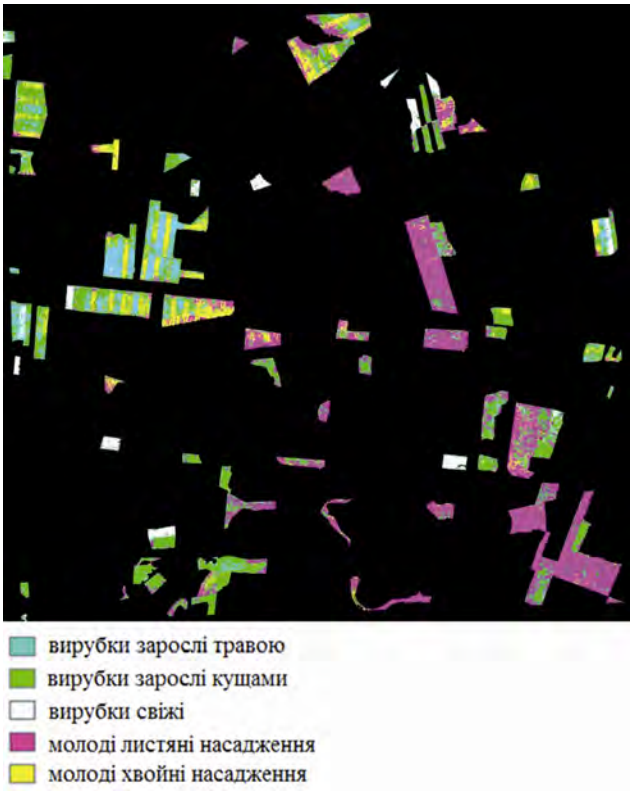


*Рис. 5. Накладена на космічне зображення маска для подальшої класифікації лісів за типом порід*

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua




*а*




*б*

*Рис. 6. Відкласифікований знімок за методом контрольованої класифікації за алгоритмом максимальної вірогідності:*
*а – класифікація лісів;*
*б – класифікація вирубок та молодого лісу*

Наступний крок передбачав накладання маски на зрілий ліс, для проведення класифікації таких типів об'єктів: свіжі вирубки; вирубки, зарослі травою; вирубки, зарослі кущами; молоді хвойні насадження; молоді насадження листяних дерев.

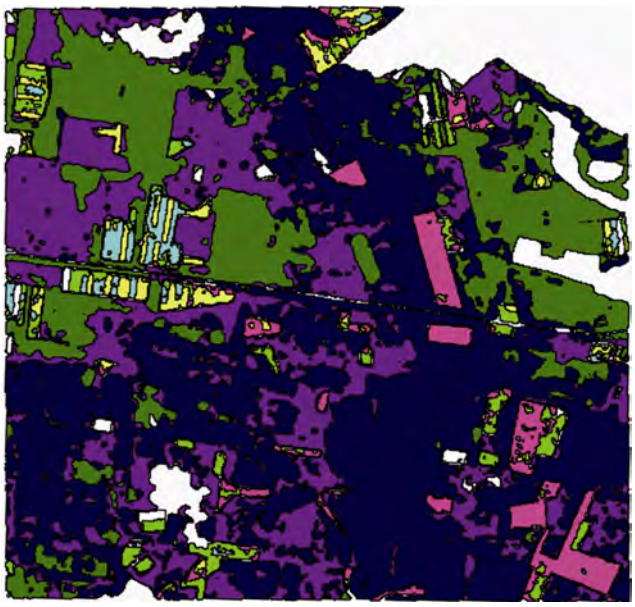


*Рис. 7. Конвертовані векторні дані як результат двоетапної класифікації*

Для порівняння двох методів застосуємо ті самі сигнатури. Класифікацію виконуємо методом максимальної вірогідності з достовірністю 0,95.

На рис. 6, *а* подано відкласифіковане зображення з поділом на три класи – класи зрілих лісів за породним складом: хвойний, листяний та мішаний ліси. Відповідно, на рис. 6, *б* – відкласифіковане зображення з поділом на п'ять класів: вирубки свіжі; вирубки, зарослі кущами; вирубки трав'янисті; молоді хвойні насадження; молоді насадження листяних дерев.

Оскільки стандартною формою представлення оцінки достовірності класифікації є матриця похибок, у табл. 4 та 5 подано похибки і наведено достовірність контрольованої класифікації методом максимальної вірогідності для першого і другого етапів класифікації.

*Таблиця 4*

**Матриця похибок першого етапу класифікації (класифікації лісів), %**

| **Клас** | Хвойний ліс | Листяний ліс | Мішаний ліс |
|---|---|---|---|
| Хвойний ліс | **92,3** | 0,3 | 7,1 |
| Листяний ліс | 1,8 | **84,3** | 12,9 |
| Мішаний ліс | 5,9 | 13,5 | **79,7** |

Для першого етапу контрольованої класифікації достовірність становить $P = 85{,}2$ %, а коефіцієнт $\kappa = 0{,}78$. Для другого етапу контрольованої класифікації достовірність становить $P = 90{,}2$ %, а коефіцієнт $\kappa = 0{,}87$. Оскільки для двох етапів класифікації $\kappa > 0{,}75$, то результати класифікації вважаються задовільними.

Наступний етап робіт передбачає застосування фільтрів, які покращать результат класифікації та визначення площ лісів.

Постобробку виконуємо на основі аналізу більшості. Проведено дослідження щодо вибору оптимального околу перекласифікації пікселів для обох зображень. Із порівнянь площі лісів, отриманих із

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

*Таблиця 5*

**Матриця похибок другого етапу класифікації (класифікації вирубок і молодого лісу), %**

| **Клас** | Вирубки, зарослі кущами | Свіжі вирубки | Вирубки трав'янисті | Листяні молоді насадження | Хвойні молоді насадження |
|---|---|---|---|---|---|
| Вирубки, зарослі кущами | **80,1** | 3,1 | 8,9 | 7,2 | 2,1 |
| Свіжі вирубки | 0,5 | **92,5** | 1,0 | 0,1 | 0,0 |
| Вирубки трав'янисті | 7,2 | 3,1 | **89,1** | 0,1 | 1,2 |
| Листяні молоді насадження | 10,3 | 0,0 | 0,1 | **91,7** | 1,7 |
| Хвойні молоді насадження | 1,8 | 0,0 | 1,1 | 0,8 | **95,0** |

*Таблиця 6*

**Різниці площ лісів за двоетапною класифікацією після постобробки**

| Типи лісів | Площі, обчислені за даними дешифрування знімка, га | Площі, обчислені на підставі класифікації зображень, га | Достовірність визначення площ, % | Площі, обчислені на підставі пост-класифікації, га | Достовір-ність визначення площ, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Свіжі вирубки | 19,8 | 18,3 | **92,7** | 19,1 | **96,5** |
| Вирубки, зарослі кущами | 84,3 | 79,6 | **94,4** | 78,8 | **93,5** |
| Вирубки трав'янисті | 35,7 | 34,8 | **97,6** | 33,1 | **92,9** |
| Молоді листяні насадження | 106,3 | 100,5 | **94,5** | 103,9 | **97,7** |
| Молоді хвойні насадження | 42,6 | 48,7 | **85,8** | 43,0 | **99,2** |
| Мішаний ліс | 498,5 | 627,9 | **74,0** | 528,6 | **94,0** |
| Хвойний ліс | 487,4 | 510,1 | **95,4** | 448,1 | **91,9** |
| Листяний ліс | 1012,8 | 845,8 | **83,5** | 963,6 | **95,1** |

завіркової інформації та обчислених з перекласифікації пікселів, встановлено оптимальний окіл перекласифікації лісів. Його розмір становить 21×21 пікселів. Найкращий розмір околу для перекласифікації вирубок та молодого лісу становить 13×13 пікселів.

Оскільки в результаті класифікації піксели, які не належали до жодного з класів і яким присвоєно чорний колір, не враховано в обчисленні площ, застосовуємо інструмент *ClumpClasses*.

Достовірність та різниці площ різних типів лісів та вирубок, отриманих із тестових площ, визначених з урахуванням завіркової інформації, та площ, отриманих в результаті постобробки після другого етапу класифікації, подано в табл. 6.

Оскільки в результаті двоетапної класифікації отримано два зображення: класифіковане зображення з типами молодого лісу та вирубками, зображення зрілих лісів, то наступний етап передбачає з'єднання їх в одне зображення. Для цього виконано конвертацію растрових зображень у векторний формат (рис. 7).

Цей етап конвертації та збереження у форматі *.shp є важливим, оскільки уможливлює опрацювання результатів класифікації у ручному режимі, створення бази даних та редагування результатів класифікації.

**Висновки**

1. Встановлено, що космічні знімки високого розрізнення дають змогу в автоматизованому режимі ідентифікувати лісові масиви та визначити їх площі.

2. Із аналізу роздільності класів за матрицями похибок та статистичною мірою розділення – дивергенцією виявлено, що класи "хвойні насадження" та "хвойний ліс", "листяні насадження" та "листяний ліс" є нероздільними класами. Відповідно, застосовано двоетапну класифікацію, що передбачає використання лісових масок. Достовірність визначення площ у результаті двоетапної класифікації значно вища, ніж за "традиційної", і становить від 74,0 до 97,6 %, а після застосування постобробки – від 91,9 до 99,2 %.

**Література**

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В. І. Лялько та М. О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.
3. Білоус А. М. Особливості дешифрування видового складу лісів Східного Полісся України на основі космічних знімків GeoEye / Білоус А. М., Алек-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

сін О. В. // Біоресурси і природокористування. – 2013. – № 1–2. – С. 94–101.
4. Бурачек В. Г. Розробка алгоритмічного забезпечення автоматизованої системи дешифрування аерокосмічних зображень для вирішення задач тематичного картування просторових об'єктів регіональної ГІС / Бурачек В. Г., Зацерковний В. І. // Вісник КТУ. – 2010. – Вип. 26. – С. 37–41.
5. Использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия лесов / Исаев А. С., Князева С. В., Пузаченко М. Ю., Черненькова Т. В. // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 2. – С. 1–12.
6. Лабутина И. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студ. вузов / И. А. Лабунина. – М.: Аспект Пресс, 2004. –184 с.
7. Миклуш С. І. Дистанційне зондування Землі в лісовому господарстві: навч. посіб. / С. І. Миклуш, С. А. Гаврилюк, О. Г. Часковський. – Львів: ЗУКЦ, 2012. – 324 с.
8. Сесін В. А. Геоінформаційний підхід до картографування лісового господарства // Вісник геодезії і картографії. – 2003. – № 3. – С. 27–32.
9. Слободяник М. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 1(88). – С. 27–31.
10. Burshtynska K. The definition of the area of felling forests by high resolution satellite images / Burshtynska K., Polishchuk B., Madyar J. // GLL. – No. 3/2014, Krakow, 43-–4.
11. Burshtynska K. Deforestation monitoring at different periods by satellite imagery / Burshtynska K., Madyar J., Polishchuk B. // ISPRS WG IV/2 Workshop. – 2015, Novosibirsk. – 114–127.
12. Sakhatsky A. I. Classification of space image for forest state identification within the Siberia region / Sakhatsky A. I., Mc Callun J., Khodorovsky A. Ja., Bujanova I. Ja. // Pt. 1 IIASA, Laxenburg, Austria, IR-02-09, April 2002. – 45 p.
13. Swain P. H. & Davis S.M. (eds.) (1978): Remote sensing – the quantitative approach. – New York (McGraw-Hill). – 396 p.
14. http://dklg.kmu.gov.ua
15. http://uk.wikipedia.org
16. http://www.lesovod.org.ua
17. http://www.eco-live.com.ua
18. http://www.pryroda.gov.ua

**Методика двоетапної класифікації лісів за космічними зображеннями високого розрізнення**

Х. Бурштинська, Ю. Денис,
Ю. Мадяр, Б. Поліщук

Розглянуто та реалізовано методику двоетапної класифікації лісів Прикарпатського регіону з використанням космічного знімка, отриманого в літній період із супутника QuickBird-2. Методика полягає у використанні лісових масок для класифікації за алгоритмом максимальної вірогідності. Точність визначення площ становить 1–8 %. Оцінку точності визначення площ здійснено на підставі завіркової інформації.

**Методика двоэтапной классификации лесов по космическим изображениям высокого разрешения**

Х. Бурштынская, Ю. Денис,
Ю. Мадяр, Б. Полищук

Рассмотрено и реализовано методику двоэтапной классификации лесов Прикарпатского региона с использованием космического снимка, полученного в летний период из спутника QuickBird-2. Методика состоит в использовании лесных масок для классификации по алгоритму максимального правдоподобия. Точность определения площадей составляет 1–8 %. Оценку точности определения площадей осуществлено с использованием заверительной информации.

**Method two-step classification of forests by high resolution space images**

Kh. Burshtynska, Y. Denys,
Y. Madiar, B. Polishchuk

Considered and implemented two-step method of classification of Precarpathian region forests using satellite images obtained during the summer from satellite QuickBird-2. The technique is to use masks for forest classification by maximum likelihood algorithm. The accuracy of the areas is 1.8 %. Assessment of the accuracy of the area is based.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua