

Х.В. Бурштинська, Б.В. Поліщук, О.Ю. Ковальчук
Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛІСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ВИСОКОГО РОЗРІЗНЕННЯ

© Бурштинська Х.В., Поліщук Б.В., Ковальчук О.Ю., 2013

Исследованы методы контролируемой классификации по минимальному расстоянию, расстоянию Махаланобиса и максимальному правдоподобию для идентификации лесов. Материалами служили космические снимки из спутников Ikonos, QuickBird и заверительная информация, полученная наземными способами. Установлено, что эффективным для классификации лесов является метод максимального правдоподобия.

In this paper a research of methods for the controlled classification of the spectral distance, Mahalanobis distance and maximum probability to identify forests was conducted. As a materials for the research space images of the satellites Ikonos, QuickBird and test information from ground-based methods were used. As an outcome it was identified that the maximum probability method is the most efficient one efficiency for the forest classification issue.

Основні завдання оцінювання стану лісів засобами ДЗЗ. Лісові масиви є складними динамічними природними системами, межі яких постійно змінюються. Крім того, ліс – джерело цінної промислової сировини. Зважаючи на високу трудомісткість отримання інформації про склад лісів та їх екологічний стан наземними методами, особливо на великих площах, важлива роль в оцінюванні стану лісів, їх картографуванні та проведенні екологічного моніторингу належить дистанційним методам досліджень. Експлуатація лісових ресурсів, зокрема вирубка лісів, проводиться не завжди санкціоновано та раціонально. Прикладом цього є стан лісів Карпат. Для контролю за промисловим використанням і відновленням лісів здійснюється оперативний космічний моніторинг [2, 8, 9, 18].

Видовий склад лісової рослинності визначають засобами класифікації багатоспектральних космічних знімків [1, 3, 17, 19] з використання сучасних програмних засобів, зокрема програмного продукту Erdas Imagine, за методом класифікації з навчанням. При цьому вдається суттєво уточнити просторовий розподіл лісів за видовим складом у межах кварталів і виділів, визначених за картами та схемами лісовпорядкування. Для класифікації видового складу лісової рослинності найпридатнішими є багатоспектральні космічні знімки високого розрізнення КА Landsat, Ikonos, QuickBird (США), SPOT (Франція), IRS (Індія), Ресурс (Росія), Січ-2 (Україна).

Ліси зазнають значних пошкоджень від різних шкідників (сосновий шовкопряд, коренева губка та ін.). Крім того, на них негативно впливають зміни гідрологічного режиму, забруднення ґрунтів і повітря різними токсикантами – важкими металами, вуглеводнями, радіонуклідами тощо [1, 2, 7, 11]. Ці чинники спричиняють значні економічні збитки. Їх вплив, особливо внаслідок поширення шкідників, є значним та охоплює значні площі. Ступінь ураженості лісів коливається в широких межах: від початкового до важкого та повної загибелі лісу. Тому потрібний систематичний моніторинг за цими явищами, який без використання методів ДЗЗ практично неможливий [12–14].

Значних збитків лісове господарство зазнає від пожеж. Для моніторингу лісових пожеж та оцінювання пожежонебезпечності лісових масивів використовують насамперед знімки з КА серії NOAA. Смуга огляду КА NOAA становить близько 2000 км. Вирішальною є також висока періодичність знімання. Період огляду однієї і тієї самої точки з одного супутника становить 12 год. У зв'язку з тим, що на орбіті знаходиться у цей час чотири КА NOAA, протягом доби кожна ділянка місцевості контролюється декілька разів [1, 5, 15].

Вивчення біофізичних процесів, що відбуваються в лісах, дає змогу заздалегідь передбачити розвиток рослинності та своєчасно застосувати заходи щодо попередження негативного впливу шкідливих чинників. Знати біофізичні параметри потрібно для побудови моделей газообміну, зокрема вуглецевого, водообміну за участю лісових масивів тощо [1, 6, 16].

На підставі вивчення спеціальної літератури [1, 4, 6, 7, 9] нами визначено такі основні завдання лісового господарства:

- контроль за знищенням лісів;
- інвентаризація лісів;
- картографування лісів;
- моніторинг лісових ресурсів.

Моніторинг лісів з використанням аерокосмічних даних передбачає:

- отримання, нагромадження і попередню обробку видової космічної інформації;
- отримання і нагромадження наземної завіркової інформації, яка містить лісотехнічні параметри;
- сумісну обробку космічної та наземної інформації із застосуванням ГІС-технологій та програмних продуктів типу ERDAS Imagine;
- комп'ютерне моделювання в геосистемах для прогнозування спрямування та інтенсивності проходження екологічних процесів;
- прийняття управлінських рішень та розроблення заходів щодо створення оптимальних умов природокористування.

Періодичність знімання під час моніторингу змінюється, залежно від завдань досліджень, від кількох років до кількох годин.

Основні задачі лісового господарства та вимоги до інформації дистанційного зондування Землі наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Вимоги до інформації дистанційного зондування Землі для розв'язання завдань лісового господарства

Задачі	Характеристика аналізованих об'єктів	Масштаб спостереження	Періодичність	Просторове розрізнення	Спектральний діапазон	Космічні системи	
1	2	3	4	5	6	7	
Контроль за знищенням лісів	колір температура текстура	глобальний	квартальна	15	V I M	Landsat Jers ALOS	
Інвентаризація лісів	Визначення типів лісових порід	колір температура текстура	локальний	квартальна	1–15	V N	CartoSat-2 QuickBird-2 Ikonos 2 WorldView-2 OrbView 3 TopSat IRS-P5
	Оцінювання запасів лісоматеріалів	висота, щільність дерев	локальний	річна / квартальна	10	V N	RapidEye Spot 4, 5 Алмаз-1Б ALOS IRS-1D
	Вимірювання загальної площі і кількісне оцінювання біомаси	висота, щільність дерев	національний	річна / квартальна	10	V M	RapidEye Spot 4, 5 Алмаз-1Б ALOS IRS-1D Січ-2

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	
Картографування лісів	висота, щільність дерев	національний	річна / квартална	10–90	V N	IRS-1C IRC-1D IRS-P6 Landsat-7 TERRA EO-1 Spot-2, 4, 5 ALOS	
Моніторинг лісових ресурсів	Моніторинг лісових ресурсів і земель лісового фонду	колір температура текстура	національний	квартальна	100	V I N T	Landsat-7 IRS Spot-2, 4, 5
	Лісопатологічний моніторинг	колір температура текстура	локальний / регіональний	річна	10	V N I	QuickBird WorldView-2 Ikonos-2 EROS-A, B Formosat-2 Pecypc ДК
	Моніторинг пожежної безпеки	колір температура текстура	глобальний	річна / квартална	1000–1100	N I T	TERRA NOAA
	Післяпожежна інвентаризація	колір температура текстура	локальний / регіональний	квартальна / місячна	10	N I T	RapidEye GeoEye IRS-1D
	Антропогенна дія промисловості та інших об'єктів	колір температура текстура	локальний / регіональний	квартальна	10–30	V N I T	WorldView-2 Ikonos-2 EROS-A, B Formosat-2 Pecypc ДК

Постановка завдання. Завданням цього дослідження було порівняти ефективність різних методів контрольованої класифікації лісів з використанням знімків із супутників Ikonos та QuickBird, отриманих для різних сезонних умов. Територія досліджень знаходиться у Яворівському районі Львівської області.

Виклад основного матеріалу. Розподіл пікселів на класи здійснюється у спектральному просторі. Якщо піксел задовольняє певні умови, його приписують до класу, що відповідає заданому критерію. Труднощі класифікації пов'язані насамперед із мінливістю ознак: відбивна здатність змінюється залежно від часу доби, сезону тощо, тому правила класифікації для різних знімків можуть і не збігатися. Часто класифікація буває невизначеною та неточною, оскільки за значеннями спектральної яскравості пікселі можуть належати відразу до кількох класів, та й сам піксел растра може являти собою інтегровану характеристику об'єктів різних класів – це так звані змішані пікселі. Незважаючи на це, у процесі класифікації невизначеність ігнорується, і кожний піксел зараховується до одного із класів [1,10].

Відповідно до теорії розпізнавання об'єктів, простір ознак для класифікації потрібно поділити на замкнені ділянки, кожна з яких містить значення ознак, характерних для одного з класів об'єктів, і зарахувати кожний піксел знімка до того класу, в ділянку якого потрапив його вектор ознак. Спосіб віднесення пікселів знімка до класів об'єктів визначає так зване вирішальне правило – правило класифікації, реалізацію якого забезпечує відповідний комп'ютерний алгоритм. Правило класифікації формується на основі ознак типових об'єктів, належність яких до певного класу відома (наприклад, ознаки еталонних об'єктів на тестових ділянках). Алгоритми комп'ютерного аналізу, які реалізують різні правила класифікації, поділяють на два типи: алгоритми контрольованої і неконтрольованої класифікації.

У літературі [1,4] підкреслено, що контрольована класифікація за способами мінімальної відстані, Махалонобіса та максимальної вірогідності призводить до різних результатів. Найточніше визначити породу дерев можна за способом максимальної вірогідності, способи Махалонобіса та мінімальної відстані є майже ідентичними за точністю, у виділах дають змогу ідентифікувати по 1–3 породи.

Характеристика вихідних матеріалів. Вихідними матеріалами для класифікації лісів Львівської області Яворівського району поблизу смт. Івано-Франкове слугували космічні знімки, отримані оптико-електронними знімальними системами із супутників QuickBird (червень 2010р. – літній знімок) та Ikonos (березень 2002 р., вважатимемо зимовим знімком). Система QuickBird дає зображення в чотирьох спектральних діапазонах (панхроматичний, синій, червоний, зелений). Розрізнявальна здатність системи становить 0,61 м у панхроматичному режимі та 2,44 м у спектральних діапазонах. Система супутника Ikonos дає зображення в п'яти спектральних діапазонах (панхроматичний, синій, червоний, зелений, ближній інфрачервоний). Розрізнявальна здатність системи становить 1 м у панхроматичному режимі та 4 м у спектральних діапазонах [3, 19].

На рис. 1 показано знімки в кольорах, близьких до натуральних.



Рис. 1. Знімки на територію робіт в кольорах, близьких до натуральних:
а – QuickBird; б – Ikonos

На ділянці переважають хвойні та листяні ліси, в північній частині розташоване село Лепехівка. Біля села частину території займають сільськогосподарські угіддя. Територія ділянки рівнинна, що дає змогу не враховувати вплив рельєфу на зображення.

Завіркова інформація. Завірковою інформацією слугували дані, отримані шляхом польових досліджень, з поділом знімка на полігони і відповідним описом кожного з них [4]. Дані зібрані за такими характеристиками:

- загальна характеристика полігону (напр., дорослий хвойний ліс, неконтрольована поросль тощо);
- відсоток породи переважаючого виду;
- середня висота дерев;
- середня товщина стовбурів;
- середня відстань між деревами.

Основні залежності контрольованої класифікації. Основними для розв'язання задач класифікації є методи контрольованої та неконтрольованої класифікації [1, 10], однак дослідження показали, що методика, яка базується на визначенні оптимальної кількості класів із неконтрольованої класифікації з подальшим уточненням класифікації за правилами контрольованої класифікації, дає змогу отримувати оптимальні результати.

У контрольованій класифікації виділяють такі основні способи (правила): мінімальної відстані, відстані Махаланобіса та максимальної вірогідності.

Класифікація за правилом **мінімальної відстані** полягає в обчисленні спектральної евклідової відстані:

$$SD_{xym} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{xyi} - \mu_{mi})^2}, \quad (1)$$

де n – кількість каналів; i – номер каналу; μ_{mi} – значення сигнатури класу m у каналі i ; m – номер класу; X_{xyi} – значення пікселя для каналу i ; SD_{xym} – спектральна відстань пікселя у точці з координатами x, y .

Рівняння, що використовується при класифікації за методом **відстані Махаланобіса**, має такий вигляд:

$$D = (X - M_m)^T \times (COV_m^{-1}) \times (X - M_m), \quad (2)$$

де D – відстань Махаланобіса; m – визначений клас; X – вектор виміру класифікованого пікселя; M_m – значення сигнатури класу m ; COV_m – коваріаційна матриця пікселів у сигнатурах класу m ; COV_m^{-1} – обернена матриця до COV_m ; T – позначка операції транспонування матриці.

Класифікацію за правилом **максимальної правдоподібності** виконують за таким алгоритмом:

$$D = \ln(a_m) - [0.5 \ln(|COV_m|)] - [0.5 (X - M_m)^T (COV_m^{-1}) (X - M_m)], \quad (2)$$

де D – вагова відстань (вірогідність); a_m – відсоток вірогідності належності класифікованого пікселя до класу m (дорівнює 1,0 або вводиться на основі апріорних даних); $|COV_m|$ – детермінант матриці COV_m .

Експериментальні дослідження. Для виконання класифікації лісових об'єктів використано програмне середовище ERDAS Imagine 11. Важливим елементом неконтрольованої класифікації є вибір класів. У початковій стадії досліджень задано: кількість класів – 15; кількість ітерацій – 25; критерієм переходу на наступну ітерацію слугує відсоток пікселів, які не змінили свого класу, ітерація вважається завершеною, якщо 95% пікселів належать до заданого класу.

На основі вихідного зображення і часткової завіркової інформації для експериментальних робіт класифікацію здійснювали за 15 класами.

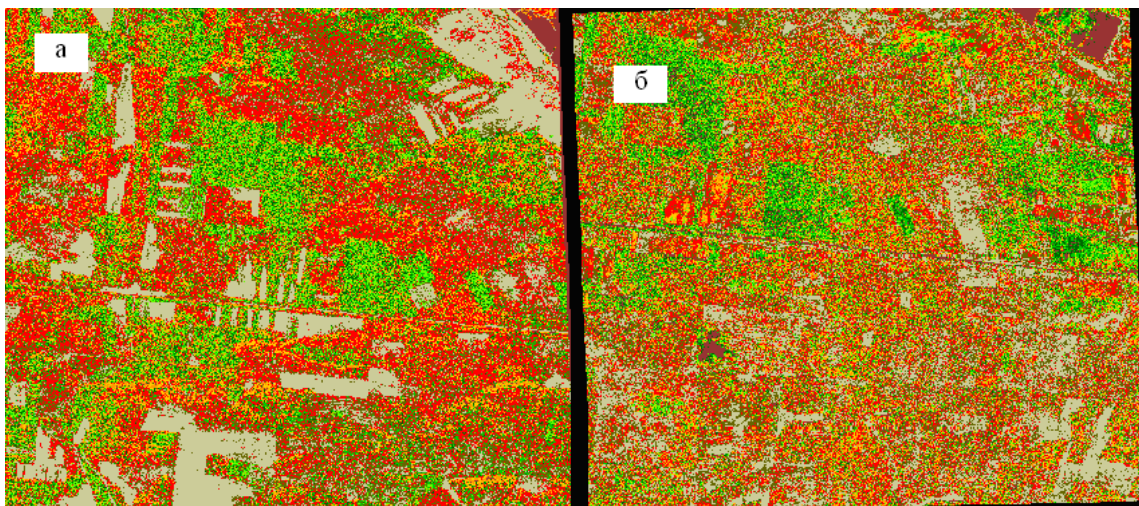


Рис. 2. Результат неконтрольованої класифікації:
а – знімальна система супутника Ikonos; б – знімальна система QuickBird

За такими зображеннями через дрібномозаїчний характер важко встановити згруповані класи об'єктів, тому їх кількість зменшено до десяти класів. Основними класами є: тіні, ґрунти, хвойні ліси 1, хвойні ліси 2, куці, листяні ліси 1, листяні ліси 2, мішані ліси.

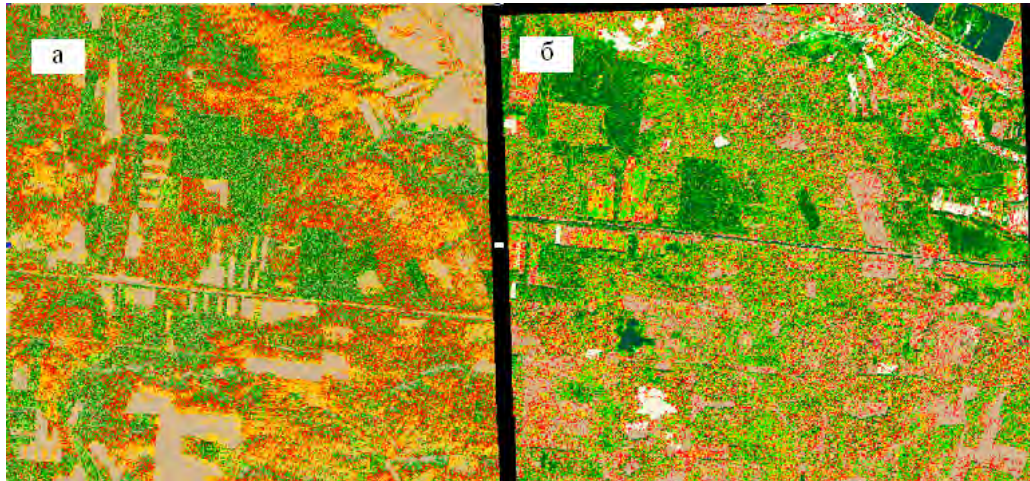


Рис. 3. Результат неконтрольованої класифікації (10 класів, 20 ітерацій):
а – Ikonos; б – QuickBird

Як свідчать результати класифікації, на зимовому знімку дуже добре ідентифікуються хвойні ліси, на деяких ділянках чітко видно розташування поодиноких дерев (посадка ялинок).

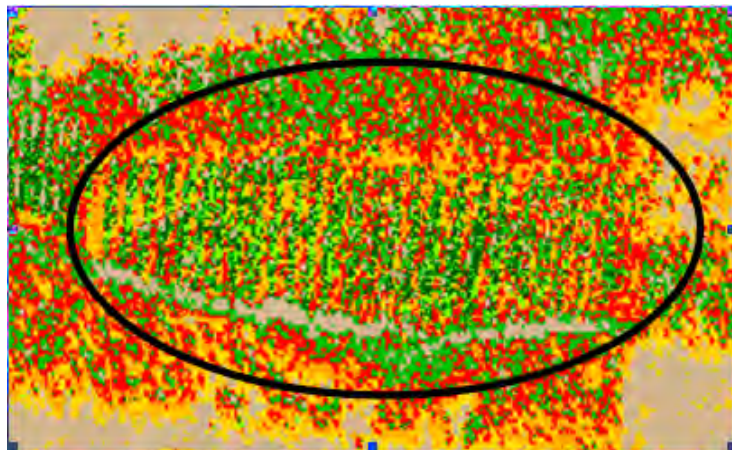


Рис. 4. Ділянка зображення хвойних насаджень на знімку Ikonos

Велика розрізнявальна здатність знімальних систем та високі інтерпретаційні можливості спектральних класів дають змогу виділяти як тип порід лісу, так і вікові характеристики.

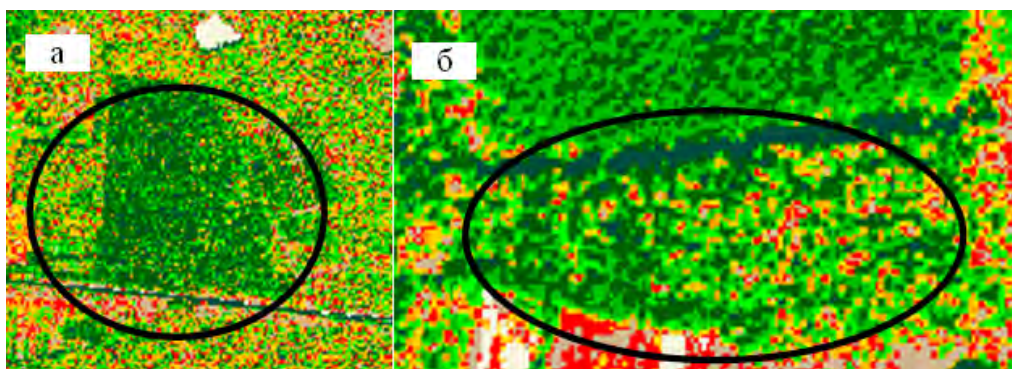


Рис. 5. Ідентифікація ділянок на зображенні літнього періоду (QuickBird):
а – хвойного лісу; б – мішаного лісу

Подальші дослідження стосувались контрольованої класифікації. Для формування навчальної вибірки використовувалась завіркова інформація, отримана у попередніх дослідженнях. [4]

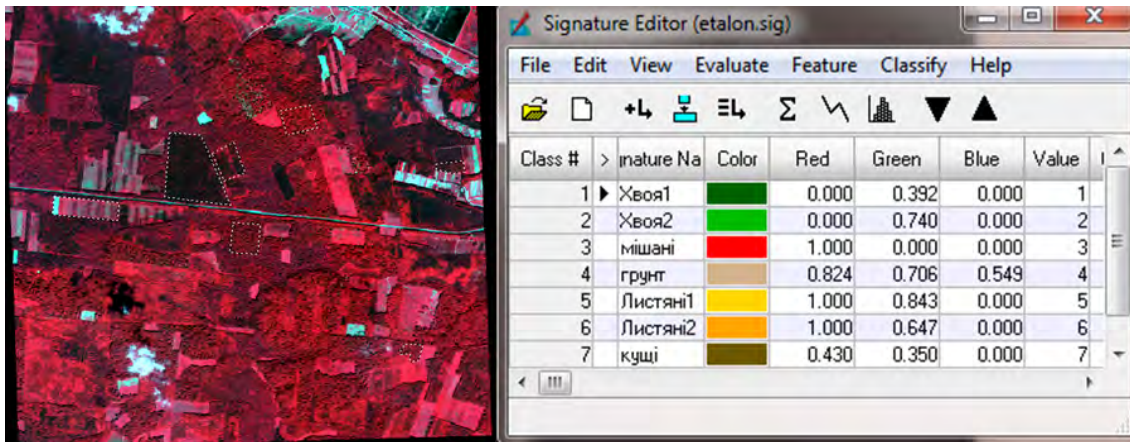


Рис. 6. Остаточна навчальна вибірка (еталони)

Уточнено кількість класів та вибрано 7 еталонів відповідно до завіркової інформації (хвоя1, хвоя 2, мішані, листяні 1, листяні 2, кущі, ґрунти).

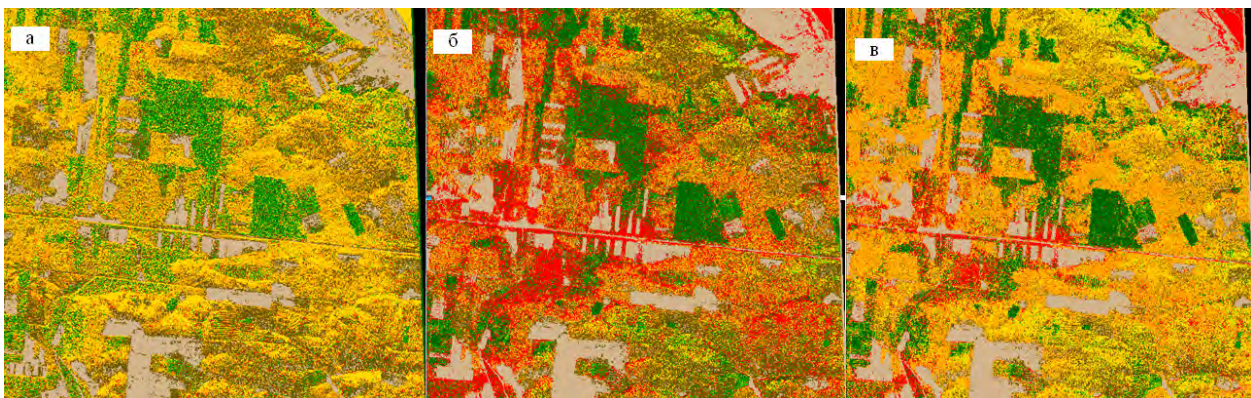


Рис. 7. Результат контрольованої класифікації знімка знімальної системи супутника Ikonos:
 а – за правилом мінімальної відстані; б – за правилом відстані Махаланобіса;
 в – за правилом максимальної правдоподібності

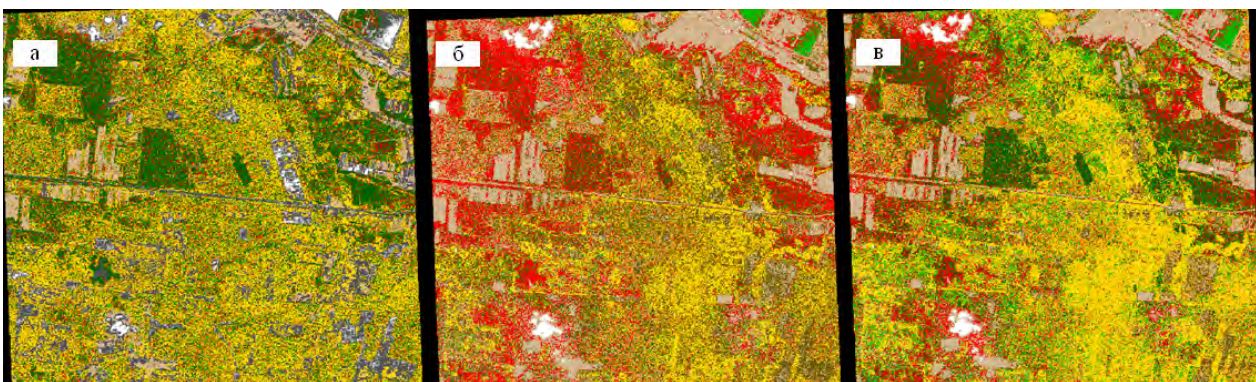


Рис. 8. Результат контрольованої класифікації знімка знімальної системи супутника QuickBird:
 а – за правилом мінімальної відстані; б – за правилом відстані Махаланобіса;
 в – за правилом максимальної правдоподібності

У ERDAS Imagine є можливість визначити площі класів на відкласифікованих растрах. У таблиці атрибутів растру навпроти кожного класу подано значення його площі в гектарах.

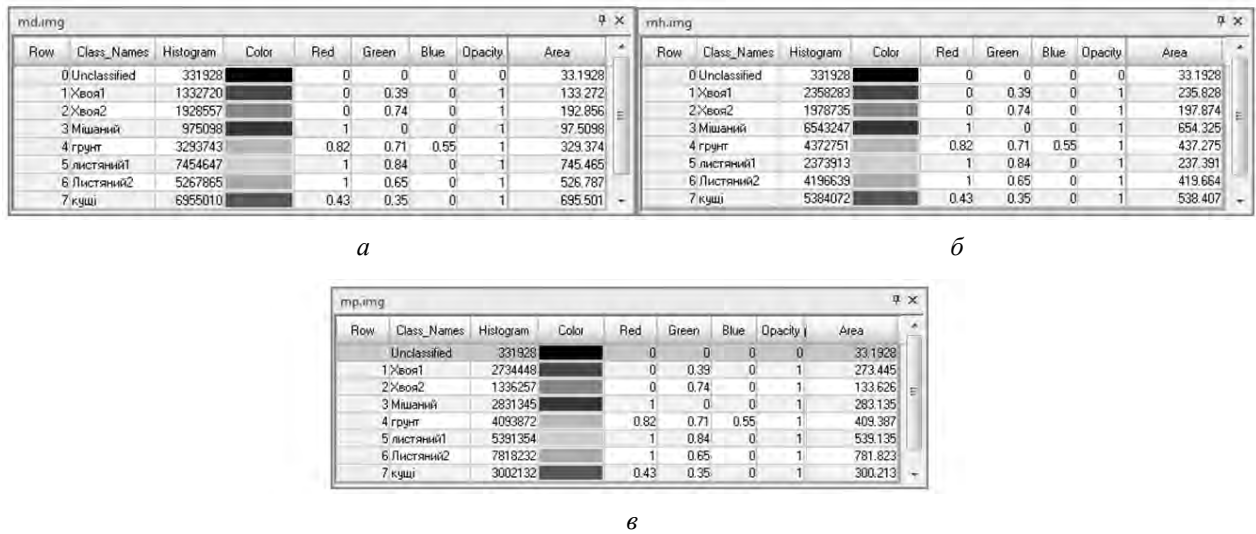


Рис. 9. Таблиці атрибутів растру контрольованої класифікації для знімальної системи супутника Ikonos: а – правило мінімальної відстані (md); б – правило відстані Махаланобіса (mh); в – правило максимальної правдоподібності (mp)

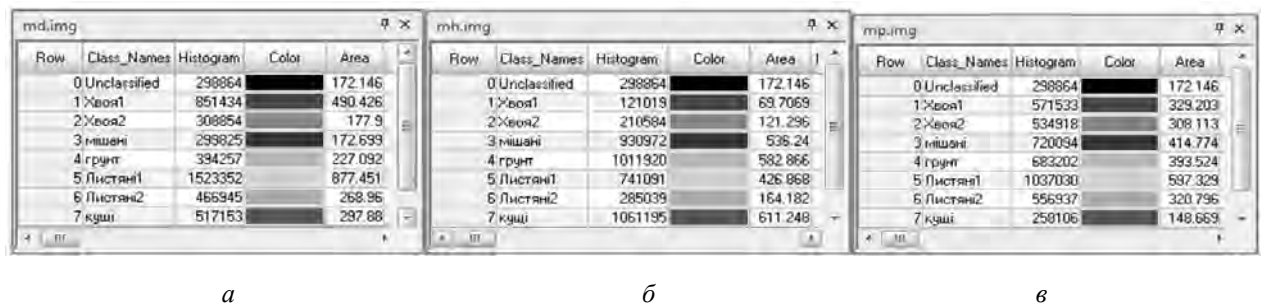


Рис. 10. Таблиці атрибутів растру контрольованої класифікації для знімальної системи супутника QuickBird: а – правило мінімальної відстані (md); б – правило відстані Махаланобіса (mh); в – правило максимальної правдоподібності (mp)

Таблиця 2

Площі класів об'єктів різного типу

Методи класифікації	Площі класів, %						
	Знімальна система супутника Ikonos						
	Хвойні 1	Хвойні 2	Мішані	Ґрунти	Листяні 1	Листяні 2	Кущі
Максимальної вірогідності	10,1	4,9	10,4	15,0	19,8	28,7	11,0
Відстані Махаланобіса	8,7	7,3	24,0	16,1	8,7	15,4	19,8
Мінімальної відстані	4,9	7,1	3,6	12,1	27,4	19,4	25,6
Знімальна система супутника QuickBird							
	Хвойні1	Хвойні2	Мішані	Ґрунти	Листяні1	Листяні2	Кущі
Максимальної вірогідності	13,1	12,3	16,5	15,7	23,8	12,8	5,9
Відстані Махаланобіса	2,8	4,8	21,3	23,2	17,0	6,5	24,3
Мінімальної відстані	19,5	7,1	6,9	9,0	34,9	10,7	11,9

На підставі площ розраховано площі класів у відсотках на зображеннях. На основі цих даних можемо визначити розходження (різниця) між методами.

Таблиця 3

Різниця площ класів

Знімальна система супутника Ikonos					
Методи	Хвоя 1	Хвоя 2	Мішані	Листяні 1	Листяні 2
Smp-Smh	1	2	14	11	13
Smp-Smd	5	2	7	8	9
Знімальна система супутника QuickBird					
Методи	Хвоя 1	Хвоя 2	Мішані	Листяні 1	Листяні 2
Smp-Smh	10	8	5	7	6
Smp-Smd	6	5	10	11	2

Різницю між площами для знімальної системи супутника Ikonos обчислено методами: максимальної вірогідності та відстані Махаланобіса для хвойних лісів становить 1–2 %; за правилом максимальної вірогідності та мінімальної відстані – 2–5 %; для листяних і мішаних лісів – 11–14 % та 7–9 % відповідно.

Хвойні ліси ідентифікуються на зимовому знімку з високою точністю. Очевидно, що на класифікацію мішаних та листяних лісів зимового знімка значно впливає підстильна поверхня.

За літнім зніском навіть хвойні ліси виказують значні різниці при класифікації: це 6–10 % і 5–6 % відповідно; для листяних і мішаних лісів різниці становлять 5–7 % та 2–10 % відповідно.

Висновки:

1. Як показують результати досліджень, за використання неконтрольованої класифікації доміантним є вибір класів. Для досліджуваних знімків вибрано 10 класів.
2. На зимовому знімку чітко ідентифікуються хвойні насадження, а також насадження молодих дерев регулярної посадки.
3. Літній знімок дає змогу точніше ідентифікувати мішані та листяні ліси.
4. Застосування контрольованої класифікації ґрунтується на математичних методах максимальної вірогідності, відстані Махаланобіса та мінімальної відстані.
5. Із спеціальної літератури та з використаної завіркової інформації попередніх досліджень найточніші результати класифікації отримано за методом максимальної вірогідності.
6. Різниця між значеннями площ, відкласифікованих методами максимальної вірогідності та Махаланобіса і мінімальної відстані, досягають у середньому до 5–8 %.

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с. 2. Бунтова О.Г. Оцінка екологічного стану лісових насаджень в зоні відчуження ЧАЕС / О.Г. Бунтова, М.Д. Кучма, М.Г. Зленко // Тези доп. наук.-практи. конф. «Наука. Чорнобиль-97». – Київ, 11–12 лютого 1998 р. – К.: УРУЦ, 1998. – С. 97–98. 3. Буришинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посібник / Буришинська Х.В., Станкевич С.А. – Львів. Видавництво Львівської політехніки, 2010. – С. 46–49. 4. Буришинська Х., Бондар Р., Поліщук Б. Порівняльний аналіз методів класифікації лісів за матеріалами космічного знімання із супутника QUICKBIRD. УДК 528.8 НУ «Львівська політехніка». Вип. №1 (23) / 2012. 5. Владимірова Н.А. Космические изображения ASTER как источник данных для лесного хозяйства: характеристики, методика дешифрирования, перспективы использования / Н.А. Владимірова // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Междунар. конф. (Москва, 17–19 апреля 2007 г.). – С. 94–97. 6. Данилин И. М., Медведев Е. М., Мельников С. Р. Лазерная локация Земли и леса: Учеб. пособие.

- Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. – 182 с. 7. Довгий С.О. Досвід і перспективи використання даних дистанційного зондування Землі для прогнозування пожежо-небезпечності лісів (на прикладі Зони відчуження Чорнобильської АЕС) / С.О. Довгий, В.І. Лялько, О.І. Сахацький та ін. // *Екологія та ресурси*. – К.: Вид-во ERRIU-УІНСіР, 2002. – № 3. – С. 85–94. – (Зб. праць Укр. ін.-ту досліджень навколиш. середовища і ресурсів Ради національної безпеки та оборони України).
8. Жолобак Г.М. Вітчизняний досвід супутникового монітору лісових масивів України / Г.М. Жолобак // *Космічна наука і технологія*. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 46–54.
9. Исаев А. С., Сухих В. И., Калашиников Е. Н. и др. *Аэрокосмический мониторинг лесов*. М.: Наука, 1993. – 241 с.
10. Кохан С.С. *Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: Підручник* / С.С. Кохан, А.Б. Востоков. – К.: Вища шк., 2009. – 511 с.
11. Лялько В.И. Комплексирование многозональных космических снимков различного пространственного разрешения для повышения эффективности исследований лесных массивов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС и районов Сибири) / В.И. Лялько, А.И. Сахацкий, А.Я. Ходоровский и др. // *Косміч. наука і технологія*. – 2002. – 8, № 2/3. – С. 239–246.
12. Поліщук Б.В. Сучасні досягнення і проблеми в дослідженнях розвитку та стану лісів / Б.В. Поліщук // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2008. – Вип. 70. – С. 38–45.
13. Трейфельд Р.Ф. Значение дистанционных методов в инвентаризации лесов / Р.Ф. Трейфельд, В.И. Березин // *Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. Доклады IV Международной конференции (Москва, 17–19 апреля 2007 г.)*. – С. 140–144.
14. Цыдыпова М.В. Применение данных ДЗЗ в мониторинге лесных экосистем Забайкальского природного Национального парка / М.В. Цыдыпова, В.А. Борхонов, М.Г. Цыренова // *Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (Москва, 17–19 апреля 2007 г.)*. – С. 152–155.
15. Beney I. *Advanced Space System Concepts and technologies: 2010-2030*. – L. A.: Aerospace Press, 2003. – 294 p.
16. Dontchenko V.V., Johannesen O.V., Bobylev L.P., Bartalev S.A. *ERS/SAR data application for Russian boreal forests mapping and monitoring* // *Proe. I b ARSS'99*. – 1999/ – P.311 – 314.
17. Sakhatsky A.I. *Classification of space images for forest state identification within the Siberia region* / Sakhatsky A.I., McCallum J., Khodorovsky A.Ja., Bujanova I.Ja. // *Pt. 1 IIASA, Laxenburg, Austria, IR-02-09, April 2002*. – 45 p. – <http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/>.
18. http://www.lvivlis.com.ua/file/LL_proekt.pdf.
19. <http://www.worldview.ru/quickbird.html>.