

О. ТОКАР^{1*}, М. КОРОЛЬ², С. ГАВРИЛЮК³, А. ЦУНЯК⁴

^{1*}Кафедра міжнародної інформації, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, ел. пошта: tokarolya@gmail.com

^{2, 3} Кафедра лісової таксації та лісовпорядкування, Національний лісотехнічний університет України, вул. Природна 19, Львів, Україна, 79057, ел. пошта: nikkorol@ukr.net, serhiy_havrylyuk@ukr.net

⁴ Відділення землевпорядкування та дизайну, Екологічний коледж Львівського національного аграрного університету, вул. Замарстинівська, 167, Львів, Україна, 79068

ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТАКСАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Мета. Оцінка стану лісових насаджень за матеріалами космічних знімків та статистичної інвентаризації, порівняння отриманих результатів (лісівничо-таксаційних показників) з матеріалами лісовпорядкування. **Методика.** Для дослідження таксаційних показників деревостанів використано матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Лісівничо-таксаційну оцінку деревостанів НПП «Сколівські Бескиди» та уточнення контурів масивів здійснено з використанням космічних знімків Landsat ETM+ із розрізняювальною здатністю 30 м, а для перевірки – зображення Quick Bird – відповідно 0,6 м. Для проведення дешифрування за алгоритмом мінімальної відстані досліджували деревостани на тестових ділянках (пробних площах), які закладали по перетинах растрової сітки з кроком 300 м у вертикальному та горизонтальному напрямку, яку згенеровано у програмному продукті QGIS. Визначення основних лісівничо-таксаційних показників здійснювали згідно з прийнятими у лісовій таксації та лісовпорядкуванні методиками. **Результати.** Описано застосування космічних знімків для дослідження лісових насаджень. Використано сучасні підходи та новітні технології для дослідження лісових ресурсів, що дало змогу провести адекватну оцінку меж ділянок лісової рослинності фрагменту Сколівського лісництва НПП «Сколівські Бескиди» Львівської області та уточнити їх контури із використанням космічних знімків. Обчислено різницю площ за електронними картами та за матеріалами лісовпорядкування. **Наукова новизна і практична значущість.** У статті адаптовано алгоритм використання матеріалів ДЗЗ для виділення меж таксаційних виділів. За результатами проведеної інвентаризації на дослідних ділянках здійснено порівняння основних таксаційних показників з матеріалами повидільної бази даних лісовпорядкування та визначено відхилення. Отримані дані та алгоритм можна використати для створення цифрових карт насаджень, туристичних карт парку, розподілу на функціональні зони тощо.

Ключові слова: лісова рослинність; супутниковий знімок; дешифрування; растр; цифрова карта.

Вступ

Сьогодення вимагає відповідального підходу до використання природних ресурсів і при цьому необхідно звертати увагу на підтримання й збереження екологічної рівноваги. Роль лісових екосистем – це перш за все виконання захисних, охоронних, киснетвірних, рекреаційних та інші корисних функцій. Оскільки лісове господарство переходить на засади сталого розвитку, тому постає вагоме завдання в отриманні реальних даних про лісовий фонд та його динаміку, якісний склад, оцінку запасу. Таку інформацію використовують також для ведення моніторингу, де враховують використання лісових ресурсів й аналіз його санітарного стану тощо.

Вивчення лісів за допомогою дистанційних методів ведеться у багатьох країнах світу [Corpin, 2004; Вищега, 2008; Часковський, 2004].

Застосування дистанційного зондування для дослідження лісової рослинності є актуальним і для України [Гаврилюк, 2007; Горошко, 2010, 2011; Миклуш, 2006; Цуняк, 2013].

Дані, які отримані на підставі матеріалів дистанційного зондування Землі, розширюють можливість у володінні інформацією про територіальне розміщення лісів, їх межі, а також встановлення їх кількісних та якісних характеристик. Це покращує ефективність ведення лісового господарства на локальному рівні – від державного підприємства до окремих таксаційних виділів. Рациональне використання лісових ресурсів та перехід на засади сталого й постійного розвитку у лісовому секторі вимагає отримання актуалізованих даних лісового фонду. Оцінка достовірності матеріалів і характер їх змін залишається основною проблемою для лісовпорядкування, тому дистанційні методи

відіграють важливу роль у забезпеченні отримання достовірної інформації.

Мета

Здійснити порівняльну оцінку стану лісових насаджень на частині лісового фонду в Національному природному парку “Сколівські Бескиди” на основі матеріалів проведеної інвентаризації з використанням космічних знімків і матеріалів лісовпорядкування та їх основних лісівничо-таксаційних показників.

Методика

Достовірні та вичерпні відомості про стан лісових насаджень та їх основні лісівничо-таксаційні показники отримують різними способами: суцільні вимірювання, вибіркова лісоінвентаризація, окомірні методи таксації. Проте ці підходи вимагають значних затрат ресурсів, часу та висококваліфікованих працівників. Для практики ведення лісового господарства не завжди отримані характеристики деревостанів використовуються повністю. Тому для зменшення витрат для об’єктивного визначення лісівничо-таксаційних показників можна використовувати матеріали дистанційного зондування Землі, зокрема й космічні знімки з різних знімальних систем. Доцільність використання космічних знімків для досліджень за лісовими ресурсами продиктована високою їх інформативністю та відносною дешевизною порівняно з традиційними методами аерофотознімання [Richards, 1999; Stefanski, 2014; Миклуш, 2007]. У мультиспектральних зображеннях наявність каналів інфрачервоного діапазону підвищує їх інформативність саме для визначення вегетаційного вкриття земної поверхні [Кашкин, 2001]. Космічні знімки, які можна використовувати для лісоінвентаризаційних робіт, можна отримати з різних космічних апаратів, зокрема Landsat, Sentinel, IRS, Spot, EROS, Ikonos, Quick Bird та інших.

Залежно від поставлених завдань для лісового господарства можна використовувати зображення різної просторової та радіометричної розрізняювальних здатностей, причому чим загальніше завдання, тим нижчої розрізняювальної здатності необхідно брати зображення. Встановлення контурів лісових масивів (виділення вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок) відбувається з урахуванням рівня ведення лісового

господарства [Горошко, 2003, 2011]. Для рівня окремого лісогосподарського підприємства можна використовувати знімки з розрізненням 0,7-2,0 м (знімальні системи на супутниках EROS B, Ikonos, Quick Bird). Знімки з розрізненням 5-15 м можна використовувати як на рівні окремого підприємства, так і на регіональному рівні (IRS, Cartosat, Spot, ALOS, MODIS Terra/Aqua). Для національного рівня найбільш придатним є знімки з просторовим розрізненням 30-50 м (Landsat, SPOT, Ресурс-О тощо). Найкращі результати за співвідношенням “ціна/якість” для виконання подібних робіт дають космічні знімки з розміром пікселя 5-10 м у панхроматичному діапазоні та нижче у мультиспектральному діапазоні.

Для успішного використання даних дистанційного зондування Землі необхідно отримані матеріали відповідним чином попередньо опрацювати (геометрична, радіометрична корекції тощо). Це, насамперед, залежить від типу знімальної системи, з якої отримали зображення. Попереднє опрацювання супутникових знімків дозволяє підвищити їх інформативність і, відповідно, придатність до дешифрування [Richards, 1999; Aronoff, 2005]. Зазвичай до кінцевого користувача надходять зображення вже попередньо геометрично та радіометрично скориговані. Проте є ряд алгоритмів, що дозволяють підвищити інформативність космічних зображень. До одного з них належить покращення просторової розрізняювальної здатності (Resolution Merge) на основі панхроматичного та мультиспектральних каналів [Гаврилюк, 2007]. Для цього реалізовано кілька алгоритмів злиття зображень (принципових компонент, метод Бровея тощо). Наприклад, просторова розрізняювальна здатність мультиспектральних каналів зображень з супутника Landsat становить 30 м, а панхроматичного – 15 м. В результаті злиття отримаємо мультиспектральне зображення з просторовою розрізняювальною здатністю 15 м. Використання таких зображень дозволить підвищити точність контурного дешифрування космічних зображень за рахунок підвищення просторової розрізняювальної здатності мультиспектрального зображення до рівня панхроматичного.

Для детального дослідження рослинності, в тому числі лісового вкриття, доцільно

використовувати поряд з мультиспектральними синтетичні канали, які формують на основі алгебраїчних перетворень коефіцієнтів спектральної яскравості. До найпоширеніших відносять індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Використання цього індексу значно розширює можливості виділення вегетаційно активної рослинності за матеріалами ДЗЗ, на що вказують багато дослідників. Зокрема Гільдербрант (1997) вказує, що для дослідження лісового вкриття найінформативнішим є NDVI-канал, сформований на основі ближнього інфрачервоного та червоного спектральних діапазонів, накладений на оригінальні мультиспектральні канали. Визначення NDVI-індексу для досліджуваної території підвищує спектральну роздільність між віковими категоріями насаджень більш, ніж в 3 рази.

Використання даних дистанційного зондування Землі передбачає наявність в якості еталону точок на земній поверхні, для яких відомі характеристики (для лісових ділянок – це відомі таксаційні показники). Для цього проводять наземні дослідження на пробних ділянках з географічною їх прив'язкою.

На теперішній час лісові європейські країни здійснюють лісоінвентаризацію на основі постійних пробних площ різних розмірів. Для кожної країни система пробних площ та способи інвентаризації відрізняються. Зауважимо, що результати наземної інвентаризації дають достовірну статистику тільки для великих за площею територій, що охоплюють досить велику кількість пробних площ. Щоб отримувати достовірну інформацію і для менших за площею територій, можна використовувати дані ДЗЗ (наприклад зображення з супутника Landsat) поряд з наявними картографічними матеріалами лісовпорядкування (цифрові карти), які для гірських та горбистих місцевостей повинні базуватися на цифровій моделі рельєфу [Копій, 2006; Хлян, 2009; Цуняк, 2013].

Для оцінки лісових масивів НПП «Сколівські Бескиди» та уточнення його контурів використано космічні знімки Landsat 7 ETM+ із розрізнявальною здатністю 30x30 м (рис. 1). Для уточнення результатів інтерпретації використовують зображення Quick Bird з середовища Google Earth –

відповідно 2 м у мультиспектральному діапазоні та 0,6 – у панхроматичному.

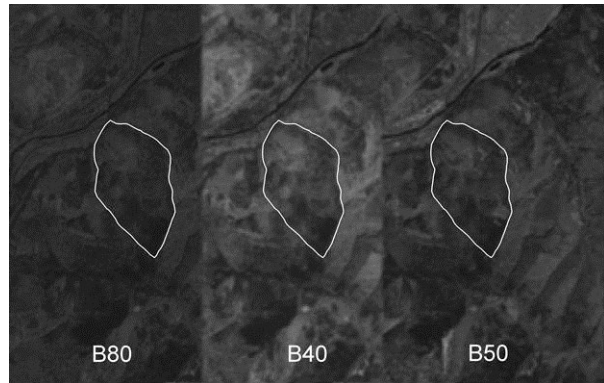


Рис. 1. Досліджувана територія на знімку Landsat (канали B80, B40, B50)

Така необхідність виникає через те, що розрізнявальна здатність геометрично скоригованих знімків Landsat становить 28,5x28,5 м, тобто одному пікселю на зображенні відповідає територія на земній поверхні площею понад 812 м². Враховуючи, що площа дослідних наземних ділянок, які слугують основою створення сигнатур для класифікації, в середньому становила 500 м² (кругова пробна площ радіусом 12,62 м) [Havrylyuk, 2011; Strochinskii, 2001], розрізнявальної здатності знімків Landsat є недостатньо. Саме тому постала необхідність злиття панхроматичного зображення високої розрізнявальної здатності (14,25 м) з мультиспектральним (28,5 м). Для цього скористалися технологією найближчого сусіда (Nearest Neighbor), яку застосовують для лінійного поділу пікселів мультиспектрального зображення на рівні частини (просторові розрізнявальні здатності вхідних зображень мають ділитися без остачі) [Миклуш, 2006]. У результаті для подальшого дешифрування на досліджувану територію використано покращені мультиспектральні зображення просторовою розрізнявальною здатністю 14,25 м.

Отримане після проведення злиття зображення підлягало дешифруванню. На першому етапі проводять виділення фотосинтезуючої рослинності з-поміж всіх об'єктів земної поверхні, що представлені на космічному зображенні. Існує кілька підходів до дешифрування знімків. Так, Миклуш С.І. та ін. вказують, що для виділення "лісової маски" доцільно використати класифікацію на основі бази знань (Knowledge Based Image Analyse)

[Миклуш, 2006]. Lawrence R. L. та ін. досліджували земне вкриття на гіперспектральних знімках з використанням алгоритму класифікації Random Forest, який показав задовільні результати [Lawrence, 2006]. Перевагою даного алгоритму є те, що його можна використовувати за обмеженої кількості дослідних ділянок, які лягають в основу створення класових характеристик (сигнатур). У даному дослідженні для дешифрування зображень рослинності частини території НПП «Сколівські Бескиди» використано можливості контрольованої класифікації. Для вкритих та не вкритих фотосинтетично активною рослинністю ділянок випадковим способом вибирали по 700 точок згідно з пропозицією Р.Н. Swain'a і S.M. Davis'a [Свейн, 1983], оскільки для класифікації бралися 7 каналів космічного знімка Landsat. Згенеровані точки переводили з shape-формату в формат програмного продукту Erdas imagine (aoi), які слугували основою (сигнатурами) для подальшого виділення "лісової маски".

Для розмітки місць закладання тестових ділянок було згенеровано растр. Такий тип розміщення ділянок забезпечив випадковість охоплення території, що є дуже важливим у статистичних дослідженнях. Для розмітки місць закладання тестових ділянок було використано растрову сітку з кроком 300 м у вертикальному та горизонтальному напрямках, що була обчислена та створена за допомогою програмного пакету QGIS (рис. 2).

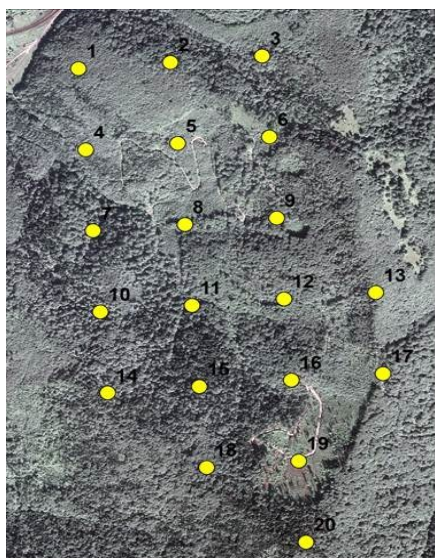


Рис. 2. Досліджувана територія, розмічена за допомогою растру

Для здійснення дешифрування потрібно визначити класові сигнатури – статистичні параметри для віднесення пікселів космічного зображення до певного класу. Для їх формування використано згенеровані точки у aoi-форматі, з яких програма вибирає спектральні характеристики. Для виділених класів у сигнатурах не обчислювалася коваріаційна матриця, тому класифікацію здійснено за правилом мінімальної відстані.

Для більшої достовірності у дослідженні використано інтерпретацію двох видів знімків: знімків, складених зі всіх каналів, окрім термальних та з додатково включеним NDVI-каналом, що обчислюється за формулою [NDVI]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

де *NIR* – спектральні характеристики каналу космічного знімка, знятого у ближній інфрачервоній частині спектра; *RED* – спектральні характеристики каналу космічного знімка, знятого у червоній частині спектра.

У результаті дешифрування отримаємо тематичні карти вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок з фотосинтетично активною рослинністю. Перевірку створеної "лісової маски" проводимо з використанням космічних знімків надвисокої розрізняювальної здатності Quick Bird.

Порівняльний аналіз лісоінвентаризаційних матеріалів

На основі матеріалів проведеної інвентаризації та матеріалів лісовпорядкування здійснено порівняльну оцінку стану лісових насаджень в національному природному парку "Сколівські Бескиди".

Для визначення меж досліджуваної території та місця розташування тестових ділянок у межах виділів було використано матеріали лісовпорядкування та космічні знімки території Сколівського лісництва. Знімок надвисокої розрізняювальної здатності Quick Bird, що відображає територію Сколівського лісництва Національного природного парку отримали за допомогою програмного комплексу SAS.Planet з відповідною прив'язкою до міжнародної системи координат UTM WGS 84 (рис. 3).

За допомогою програмного пакету QGIS на

знімок Quick Bird наклали планшет лісовпорядкування. Так як планшет не має прив'язки до жодної системи координат, його було геокодовано вручну за допомогою засобів QGIS.

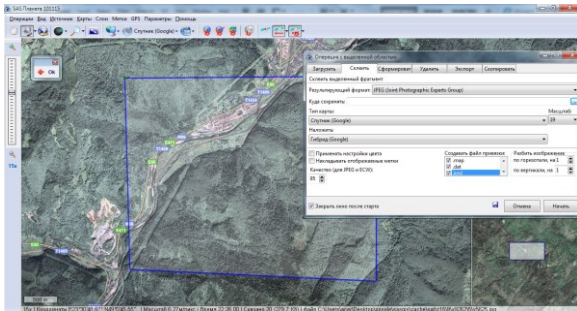


Рис.3. Виділення території та встановлення необхідних параметрів для знімку Quick Bird за допомогою програми SAS. Planet

Прив'язку здійснювали за характерними точками, що були добре видимі на планшеті та супутниковому знімку (рис. 4).



Рис.4. Планшет лісовпорядкування, прив'язаний до характерних точок на місцевості

Під час виконання польових робіт за допомогою GPS-приймача було взято координати кварталних стовпців, а також деяких точок на місцевості, які чітко можна ідентифікувати на супутниковому знімку. Додатково були зафіксовані координати характерних точок лісової дороги, яка проходить через досліджуваний квартал (рис. 5).

З наведених вище рисунків добре видно, що точки, взяті на місцевості, чітко прослідковуються на знімках, зокрема повороти дороги. Це дозволяє судити про високу точність

отриманих координат – точність фіксування тестових ділянок. Після прив'язки планшета до супутникового знімка виявлена невідповідність ситуації, яка зображена на планшеті та ситуації в дійсності. Хоча характерні межі кварталу на знімку майже збігаються з межами, нанесеними на планшеті, сітка виділів зовсім не відповідає ситуації на місцевості.

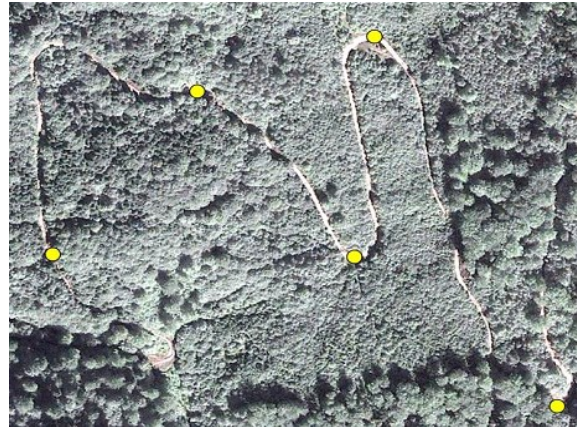


Рис. 5. Характерні точки на дорозі, зафіксовані для уточнення прив'язки

На рис. 6 показано розбіжності між видільною сіткою на планшеті та на місцевості.

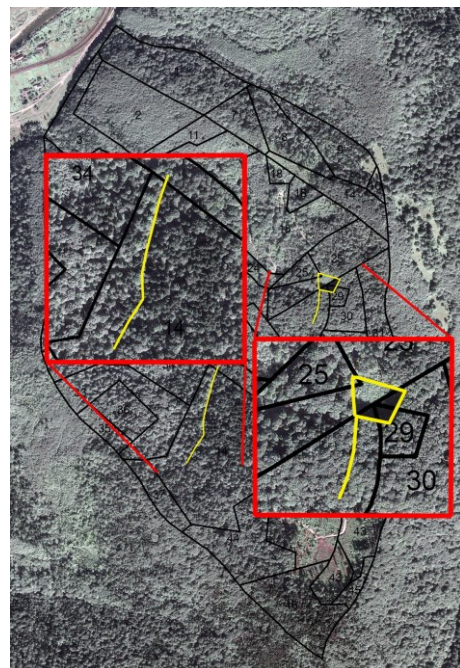


Рис. 6. Межі виділів за матеріалами лісовпорядкування та реальні межі на місцевості

Далі на знімок з нанесеними на нього межами виділів наклали шар з координатами центрів тестових ділянок, які були взяті за

допомогою приладів GPS безпосередньо в центрах досліджуваних ділянок. Це дало змогу дізнатися, у якому виділі знаходиться кожна з тестових ділянок (рис. 7). Цю інформацію внесли для опрацювання у файл «база даних» офісного пакету MS Office і конвертували у QGIS за допомогою стандартних засобів.



Рис. 7. Центри тестових ділянок на досліджуваній території

Для порівняльної характеристики було використано інформацію, яка знаходиться у таксаційному описі даного лісництва «база даних» безперервного лісовпорядкування (л/в) станом на 2011 рік та результати опрацьованих даних інвентаризації (інв.) пробних площ (ПП). Порівняльна характеристика основних лісівничо-таксаційних показників (середнього діаметра, середньої висоти та середнього запасу) наведена у табл. 1-3.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика діаметра

№ ПП	Середній діаметр			
	за л/в	за інв.	відхилення	
			абс.	%
1	20	23,2	3,2	16,0
2	22	19,7	-2,3	-10,5
4	60	14,4	-45,6	-76,0
7	52	32,3	-19,7	-37,9
9	28	29,3	1,3	4,6
10	52	37,4	-14,6	-28,1
12	34	28,5	-5,5	-16,2
13	32	31,6	-0,4	-1,3
14	28	23,1	-4,9	-17,5

Таблиця 2

Порівняльна характеристика висоти

№ ПП	Середня висота			
	за л/в	за інв.	відхилення	
			абс.	%
1	20	18,3	-1,7	-8,5
2	20	17,4	-2,6	-13,0
4	35	14,8	-20,2	-57,7
7	31	13,7	-17,3	-55,8
9	26	16,6	-9,4	-36,2
10	35	15,9	-19,1	-54,6
12	31	19,8	-11,2	-36,1
13	30	12,3	-17,7	-59,0
14	27	13,3	-13,7	-50,7

Таблиця 3

Порівняльна характеристика запасу

Table 3

Comparative characteristics of tree volume

№ ПП	Середній запас			
	за л/в	за інв.	відхилення	
			абс.	%
1	460	408	-52	-11,3
2	377	493	116	30,8
4	572	355	-217	-37,9
7	396	419	23	5,8
9	300	500	200	66,7
10	532	289	-243	-45,7
12	510	624	114	22,4
13	605	529	-76	-12,6
14	572	442	-130	-22,7

Аналіз наведених вище даних вказує, що максимальне відхилення за середнім діаметром

спостерігається на 4-й пробній площі (-76,0%), мінімальне – на 13-й (-1,3%); максимальне відхилення за середньою висотою відзначається на 13-й пробній площі (-59,0%), мінімальне – на 1-й (-8,5%); за середнім запасом найбільше відхилення спостерігається на 9-й пробній площі (66,7%), мінімальне – на 7-й (5,8%).

Різниці між отриманими даними в дослідженні та даними лісовпорядкування зумовлені багатьма факторами. Зокрема, необхідно зазначити, що лісовпорядкувальні роботи зазвичай не позбавлені впливу суб'єктивних факторів – вмінь та навичок таксатора тощо. Наші дослідження проводилися за допомогою точних приладів та носять об'єктивніший характер. Проте необхідно наголосити, що не виключена можливість потрапляння тестової ділянки на ділянки, які за своїми показниками можуть відрізнятися від ситуації загалом по виділу, тому наведені дані носять порівняльний характер.

Результати

Для процесу дешифрування геометрично покращених фрагментів знімків Landsat використано методику мінімальної відстані (Minimal Distance).

Відповідно до результатів дешифрування супутникових знімків Landsat 7 можна зазначити, що наведені тестові ділянки розміщені у характерних типах лісу – в мішаних насадженнях, у чистому буковому насадженні та у насадженні з перевагою хвойних порід (рис. 8). Цьому припущенню відповідає і склад насаджень на вказаних ділянках.

Візуальна оцінка результатів дешифрування показала, що кращі результати виділення груп порід отримали з використанням в якості додаткового NDVI зображення, тому порівняння отриманих даних проводимо саме з такою тематичною картою. Перевірку точності класифікації проводили за загальноприйнятими коефіцієнтами – точність користувача (User's accuracy), точність виробника (Producer's accuracy), загальна точність (Overall accuracy) та індекса Каппа (Каппа-Koehen index) (Aronoff, 2005; Гаврилюк, 2007). Ці дані легко обраховувати на основі матриці помилок (confusion matrix).

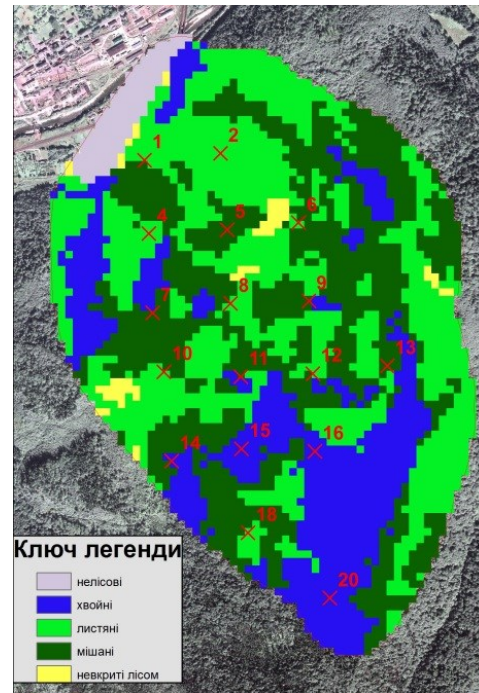


Рис. 8. Розміщення тестових ділянок у розрізі результатів дешифрування

У процесі проведення досліджень було виявлено деякі особливості інвентаризаційних робіт, а також неточності матеріалів лісовпорядкування. У першу чергу це стосується умовності у виділенні наявних меж виділів на планшетах лісовпорядкування. Пов'язано це головним чином з різними джерелами інформації, яка служить для прив'язки на місцевості – зазвичай це матеріали землевпорядкування, матеріали минулих впорядкувань тощо.

На підставі проведеного дешифрування та аналізу даних із використанням супутникових знімків Quick Bird створено нову видільну сітку й розраховано їх площі. Нумерація виділів здійснювалася згідно встановлених вимог лісовпорядкування (рис. 9). Знімки з надвисокою розрізняювальною здатністю є зручними для такої мети, так як на них добре прослідковуються особливості горизонтальної структури деревостану, візуально дешифруються деревні породи та їх вікова структура, добре видимі просіки, струмки та інші елементи рельєфу.

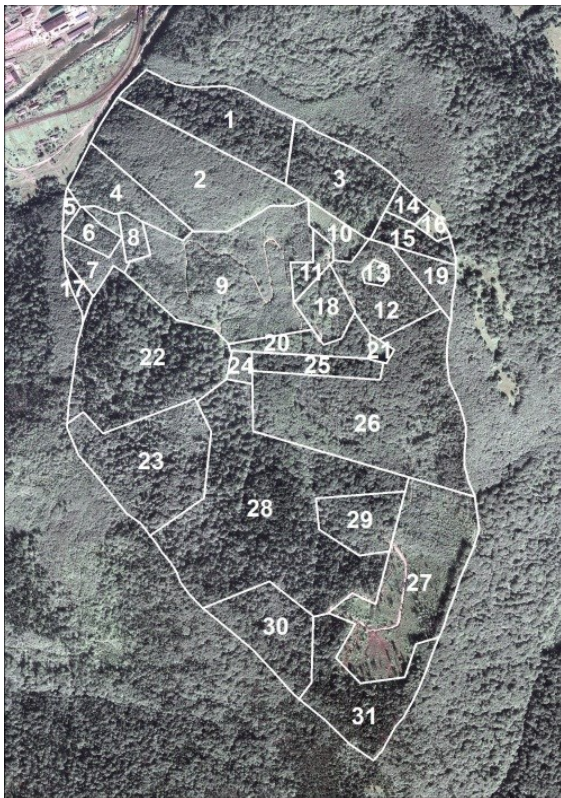


Рис. 9. Нова видільна сітка, створена на основі сателітних знімків Quick Bird

За результатами дослідження створена нова сітка виділів, де площа кварталу становить 173,5 га проти 177 га за даними матеріалів лісовпорядкування. Відхилення знаходиться в межах допустимої похибки у 2 % (для 177 га це складає 3,5 га). Проте, як видно з рис. 4 та рис. 9, межі таксаційних виділів значно змінилися за результатами дешифрування та проведеної інвентаризації лісових ділянок на досліджуваній території.

При визначенні меж виділів в натурі істотний вплив має суб'єктивний фактор – тобто досвід та навички таксатора. Для виготовлення планшетів використовують матеріали інструментального знімання, матеріали землевпорядкування, матеріали попереднього лісовпорядкування, топографічні карти, за наявності, спектрозональні або чорно-білі аерофотознімки.

Наклавши створену видільну сітку на тематичну карту результатів дешифрування видно, що переважно межі виділених класів є досить точними і відповідають ситуації на місцевості (рис. 10).

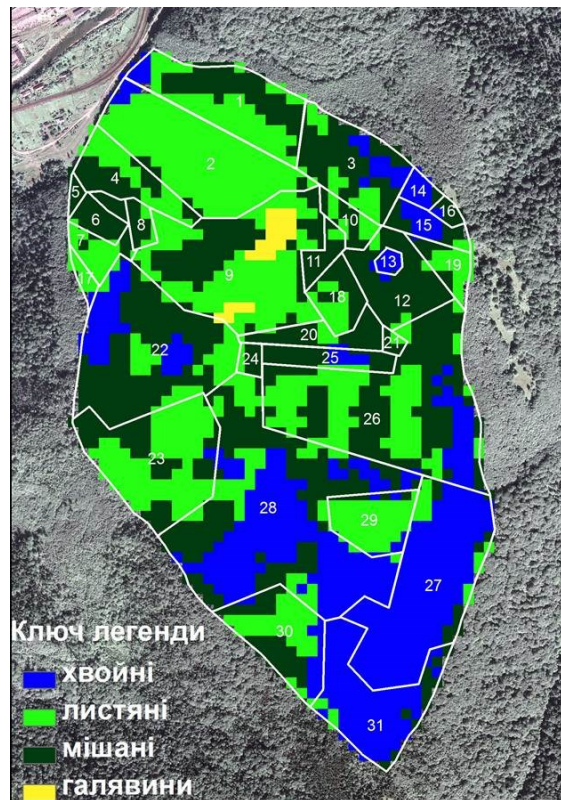


Рис. 10. Результати дешифрування на основі Landsat 7 та Quick Bird

Використаний метод виділення меж таксаційних виділів у поєднанні з натурним оглядом території можна ефективно застосовувати для проведення інвентаризаційних та інших лісогосподарських робіт. Додавши до нього уточнення характерних точок на місцевості шляхом фіксування їх координат за допомогою GPS, можна створити цифрову мережу виділів і використовувати її в подальшому для потреб лісового господарства. На основі використаних підходів можна створити цифрову карту насаджень, туристичну карту національного природного парку тощо.

Наукова новизна і практична значущість

Однією із нагальних проблем практичного ведення лісового господарства є недосконалість наявних планово-картографічних матеріалів. Зазвичай, вони сформовані на основі інструментальних вимірів або окомірного нанесення меж лісових виділів. Це зумовлює відповідні похибки у визначенні меж, які пізніше впливають у неспівпадіння площ відповідних лісотаксаційних виділів під час проведення господарських заходів. Тому питання точності планово-картографічних

матеріалів сьогодні стоїть досить гостро, якщо ще врахувати тенденцію до формування актів землекористування, якими будуть послуговуватися практики-лісівники багато років.

Тому нами запропоновано і адаптовано алгоритм використання матеріалів дистанційного зондування Землі для дослідження лісових масивів, що дало змогу провести адекватну оцінку меж лісотаксаційних виділів фрагменту Сколівського лісництва НПП «Сколівські Бескиди», уточнити їх контури та оцінити основні лісівничо-таксаційні показники насадження. Алгоритм полягає у використанні наявних у вільному доступі матеріалів дистанційного зондування Землі, зокрема знімків Landsat для дешифрування груп порід, що дало змогу побачити межі цих класів та порівняти їх з межами лісотаксаційних виділів. Отримані результати та алгоритм можуть бути використані для створення та уточнення наявних цифрових карт насаджень, туристичних карт парку тощо.

Висновки

Порівняння матеріалів натурної інвентаризації лісових деревостанів НПП «Сколівські Бескиди» показали значні відхилення порівняно з даними лісовпорядкування, що на нашу думку виникає через суб'єктивність окомірного підходу до встановлення лісівничо-таксаційних показників, а з іншого боку – просторове розміщення окремих виділів. Знану похибку вносить також невелика площа досліджуваної території. Тому для подібних досліджень слід розширювати межі території інструментальних досліджень для об'єктивнішого порівняння з матеріалами лісовпорядкування.

Неспівпадіння меж таксаційних виділів з картографічними матеріалами лісовпорядкування показали і результати дешифрування алгоритмом мінімальної відстані супутникових знімків Landsat. Краще для виділення вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок використовувати геометрично покращені знімки з використанням додаткового NDVI зображення.

Загалом, на наше переконання, використані підходи до оцінки груп порід та встановлення

меж таксаційних виділів можна використати для подальшого проведення інвентаризації лісових масивів та створення планово-картографічних матеріалів лісовпорядкування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Вицег Р.Р. Національна інвентаризація лісу в Фінляндії, Швеції, Литві та Данії / Р.Р. Вицег, Г. Г. Гриник // Науковий вісник НЛТУУ: зб. наук.-техн. праць. – Львів, 2008. – Вип. 18.11. С. 141-148.
- Гаврилук С.А. Класифікація земель лісового фонду Західного Лісостепу України за матеріалами дистанційного знімання / Гаврилук С.А., Миклуш С.І. / Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: НЛТУУ. – 2007. – Вип. 17.3. – С. 26-35.
- Горошко М.П. Дистанційні спостереження за гірськими територіями басейну Верхньої Тиси / М.П. Горошко, С.І. Миклуш, О.Г. Часковський // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. пр. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.1. – С. 58-61.
- Горошко М.П. Особливості інвентаризації гірських лісів у системі регіонального моніторингу / М.П. Горошко, Р.Р. Вицег // Промислова гідраліка і пневматика: всеукраїнський наук. – технічний журнал. – 2010. – № 4 (30). – С. 12-14.
- Горошко М.П. Оцінка урбаністичних процесів гірських ландшафтів сучасними засобами лісоінвентаризації / М.П. Горошко, Р.Р. Вицег // Науковий вісник НЛТУУ: зб. наук.-техн. праць. – Львів, 2011. – Вип. 21.16. – С. 85-90.
- Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
- Копій Л.І. Використання супутникових знімків Landsat-TM та Landsat-ETM для оптимізації лісистості порушених ландшафтів Яворівського району / Л.І. Копій, О.Г. Часковський, С.І. Копій // Науковий вісник НЛТУ України. – 2006. – Вип. 16.5. – С. 11-17.
- Миклуш С.І. Виділення “лісової маски” для Західного Лісостепу України / С.І. Миклуш, С.А. Гаврилук // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2006. – Вип. 110. – С. 60-66.
- Миклуш С.І. Виділення різних категорій земель лісового фонду дистанційними методами / С.І. Миклуш, С.А. Гаврилук // Тези доповідей учасників конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників і аспірантів та 61-ої студентської наукової конференції. – Київ: НАУ. - 2007. – С. 42-43.
- Свейн Ф. Дистанционное зондирование: количественный подход / [Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филиппс и др.]; под ред. Ф. Свейн, Ш. Дейвис // Пер. с англ. – М. : Недра, 1983. – 415 с.
- Хлян Я.О. Практичні аспекти застосування космічних методів у моніторингу навколишнього

- середовища / Я.О. Хлян // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2009. – Вип. 71. – С. 78-80.
- Цуняк А.М. Розподіл наземного вкриття Стрийсько – Сянської Верховини на основі супутникових знімків LANDSAT / А.М. Цуняк О.Г.Часковський, М.М.Король // Науковий вісник НЛТУ України.– 2013.– Вип. 23.14.– С. 27 – 32.
- Часковський О.Г. Застосування гіперспектральних супутникових знімків для спостережень за лісовими масивами / О.Г. Часковський, С.І. Миклуш // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Стан та тенденції розвитку лісівничої освіти, науки та лісового господарства в Україні. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.6. – С. 190-193.
- Aronoff S. Remote sensing for GIS managers. 1sted. Redlands, California: ESRI Press, 2005, 490 p.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lambin E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing, 2004, vol. 25, pp. 1565–1596.
- Havrylyuk S. A., Myklush S. I. *Klasyfikatsiia zemel lisovoho fondu Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy za materialamy dystantsiinoho znimannia* [Classification of Forest Cover Types of Western Steppe of Ukraine Using Remote Sensing Data]. Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University. Lviv: NLTUU. 2007, no. 17.3, pp. 26–35.
- Lawrence R. L., Wood S. D., Sheley R. L. Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (Random Forest). Remote Sensing of Environment. 2006, vol.100, pp. 356–362.
- NDVI – theory and practice. Electronic resources. Available at: <http://www.gis-lab.info/qa/ndvi.html>.
- Richards J. A., X. Jia. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo : Springer, 1999, 363 p.
- Stefanski J., T. Kuemmerle, O. Chaskovskyy et. al Mapping Land Management Regimes in Western Ukraine Using Optical and SAR Data. Remote Sens. 2014, vol. 6, Issue 6, pp. 5279–5305. Available at: doi:10.3390/rs6065279
- Strochinskii A. A., Pozyvailo Y. M., Jungst S. E. Forests and forestry in Ukraine: standing on the brink of a market economy. Journal of Forestry. 2001, vol. 99, pp. 34–38.

Надійшла 18.04.2017 р.