

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТАКСАЦІЙНОГО  
ДЕШИФРУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ВИСОКОГО  
ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ**

**Д.В. Гілітуха, аспірант\***

**В.В. Миронюк, кандидат сільськогосподарських наук**

*Розглянуто методичні принципи аналітичного дешифрування даних дистанційного зондування Землі високого просторового розрізнення. За результатами цифрової обробки супутникових знімків GeoEye-1 та QuickBird встановлено точність ідентифікації дерев у чистих соснових деревостанах зеленої зони м. Києва.*

**Ключові слова: соснові деревостани, дані ДЗЗ, лісотаксаційне дешифрування, класифікація знімків.**

Протягом останнього часу точність розпізнавання наземних об'єктів з використанням супутникових знімків високого просторового розрізнення (1 м і менше) значно підвищилася. Вони стають доступними широкому колу користувачів і поступово впроваджуються у різні сфери науки та виробництва, у тому числі і лісову галузь. Використання дистанційних технологій сприяє значному покращенню науково-методичного рівня виконання різних лісооблікових робіт і створює передумови для вдосконалення традиційних методів лісової таксації. На нинішньому етапі в науці детально досліджуються можливості впровадження автоматизованих технологій обробки матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для визначення не тільки лісівничо-таксаційної характеристики насаджень, а й біометричних показників окремих дерев [1].

Супутникові знімки високого просторового розрізнення істотно розширюють сферу застосування дистанційних технологій під час таксації лісових насаджень. Залежно від поставлених завдань можна підібрати знімки відповідного типу, формату та інформативності. Так, для тематичної обробки

---

\* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П.І. Лакида

матеріалів супутникової зйомки зі створенням відповідної картографічної інформації успішно використовуються знімки, які мають просторове розрізнення 10–30 м (SPOT-5, LADSAT TM, СІЧ-2). Для детальнішого аналізу лісових біогеоценозів, контурного та лісотаксаційного дешифрування необхідні супутникові знімки надвисокого просторового розрізнення, зокрема GeoEye-1, QuickBird, WorldView, IKONOS. Ефективність їхнього використання в системі обліку лісових ресурсів цілком залежить від наявного методичного, програмного і алгоритмічного забезпечення для обробки та інтерпретації даних ДЗЗ.

Опрацюванню нових економічно ефективних методів лісової інвентаризації з використанням аерокосмічних технологій постійно приділяється значна увага. Методичні основи лісотаксаційного дешифрування матеріалів аерокосмічної зйомки були давно розроблені та успішно впроваджені в практику лісовпорядкування вітчизняними та зарубіжними спеціалістами. Результати досліджень, опубліковані протягом останнього часу свідчать, що можливості сучасних супутникових систем для вирішення задач моніторингу та обліку лісових ресурсів істотно розширилися. У літературі все частіше з'являються публікації [5, 7, 8, 9] з питань ідентифікації дерев у насадженні за зображеннями їхніх крон.

**Мета дослідження** полягає в опрацюванні методичних принципів обробки супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення з метою автоматизованого розпізнавання дерев у соснових деревостанах.

**Матеріали і методика досліджень.** У роботі використано супутникові знімки GeoEye-1 (дата зйомки 25 квітня 2009 р.) і QuickBird (дата зйомки 15 квітня 2010 р.), які охоплюють частину лісових масивів зеленої зони м. Києва. Зокрема, перший із них покриває територію Святошинського лісопаркового господарства КО «Київзеленбуд», а другий – ВП НУБіП України «Боярська ЛДС». Після поєднання каналів видимого і ближнього інфрачервоного діапазону та виконання процедури просторового покращення (pan-sharpening) отримано мультиспектральний знімок GeoEye-1 з просторовим розрізненням

0,5 м. За аналогічною методикою отримано знімок QuickBird з просторовим розрізненням 0,6 м.

Опорними наземними об'єктами слугували результати таксації чистих соснових деревостанів на тимчасових пробних площах із суцільним картографуванням дерев. Попередньо ці насадження були відібрані з повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект». Їхня лісівничо-таксаційна характеристика наведена у табл. 1. Тимчасові пробні площі закладалися за допомогою польової системи Field-Map та сучасного вимірювального лісотаксаційного обладнання, яке входить до складу цієї системи: електронний компас MapStar Compass Module II і лазерний далекомір-висотомір TruePulse 200 [1]. Значна увага під час збору матеріалів приділялася точній географічній прив'язці пробних площ до наявних супутникових знімків.

### 1. Лісівничо-таксаційна характеристика пробних ділянок

Номер ділянки	Номер кварталу	Номер виділу	Площа, га	Склад	Вік, років	Повнота	Запас, м <sup>3</sup>
Святошинське, Пуща-Водицьке лісництво							
1	123	1	0,15	10Сз+Дз	60	0,61	326
2	107	1	0,25	10Сз+Дз	65	0,80	460
ВП НУБіП України «Боярська ЛДС», Дзвінківське лісництво							
3	90	3	0,15	10Сз+Дз	53	0,75	420
4	116	4	0,15	10Сз+Дз	61	0,80	501
5	130	12	0,20	10Сз	82	0,65	490
6	129	1	0,15	10Сз	88	0,76	558
7	92	18	0,15	10Сз	98	0,76	554
8	113	3	0,35	10Сз	133	0,59	409
9	109	1	0,65	10Сз	145	0,55	460

В основу дешифрування супутникових знімків з метою одержання інформації про розміщення дерев та визначення густоти насадження було покладено особливості розподілу інтенсивності освітлення різних частин намету деревостану. Цілком закономірно, що найосвітленішими у насадженні є верхівки крон, тоді як проміжки між ними залишаються затіненими. У такому випадку завдання ідентифікації дерев полягає у виділенні на зображенні локальних максимумів, тобто значень пікселів з приблизно однаковим рівнем сигналу.

Точність розпізнавання дерев залежить від низки факторів. У першу чергу це – деревна порода, вік, висота та густина насадження, по-друге, важливе значення мають кліматичні умови та час зйомки. Ще однією передумовою для успішної ідентифікації дерев є можливість їхнього розпізнавання в процесі візуального аналізу знімка. У зв'язку з цим, значну увагу варто приділяти вибору оптимального спектрального каналу та просторового розрізнення даних ДЗЗ. Доведено, що найточніші результати можна отримати, коли вивчаються хвойні лісостани з рівномірним розміщенням дерев [5, 7, 9].

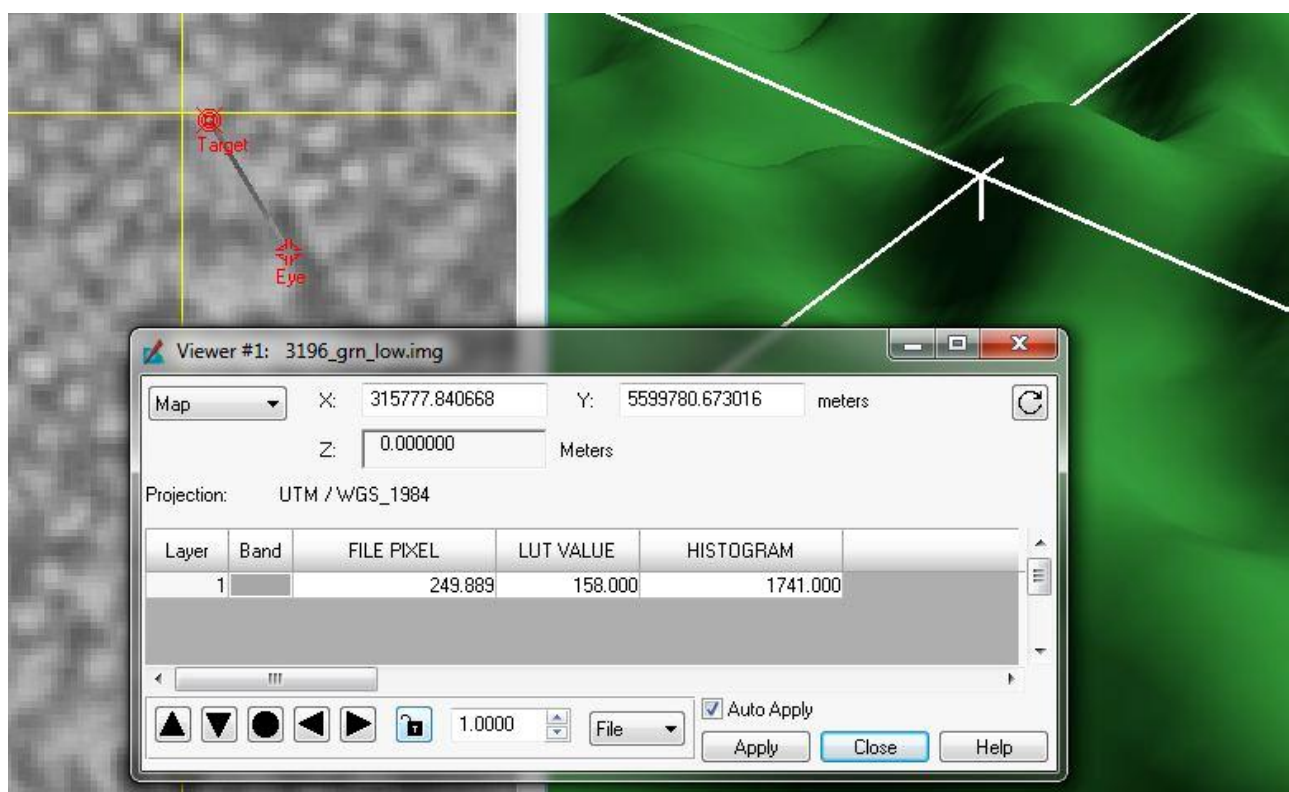
Під час дешифрування дерев за зображеннями їхніх крон можуть використовуватися різні алгоритми. Однією із основних задач при цьому є сегментація знімка, тобто виділення зон приблизно однакової яскравості. Серед існуючих варіантів сегментації зображень найпростішим є метод порогової обробки. Він реалізований у сучасному програмному забезпеченні і полягає у порівнянні рівня яскравості кожного пікселя із заданим граничним значенням. У результаті вихідне напівтонове зображення, що має певну кількість рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле (бінарне), пікселі якого розділені на два класи – об'єкт і фон. При цьому перетворення кожної точки вихідного зображення  $x(i_1; i_2)$  у цільове  $y(i_1; i_2)$  виконується за правилом [4]:

$$y(i_1; i_2) = \begin{cases} y_0 & \text{при } x(i_1; i_2) \leq x_0 \\ y_1 & \text{при } x(i_1; i_2) > x_0 \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x_0$  – порогове значення яскравості.

Таким чином, основним питанням, яке вирішується під час сегментації знімка, є вибір порогового значення  $x_0$ . Більшість методів опираються на аналіз гістограми вихідного зображення, проте граничне значення яскравості можна встановити також експериментальним шляхом. Суттєво допомагає у вирішенні цього питання аналіз інтенсивності освітлення знімка у тривимірному просторі. Процес пошуку граничного значення відображено на рис. 1. Такий підхід відомий в літературі під назвою valley-following technique (інтерпретація граничного значення класифікації у тривимірному просторі) [8].

Обробка супутникових знімків була здійснена на основі аналізу даних зеленого спектрального каналу (довжина хвилі 0,52–0,61 мкм). Ефективність використання цієї зони спектра доведено в дослідженнях, які проводилися на прикладі хвойних деревостанів в Канаді [5]. Це пояснюється високою здатністю до відбиття сонячної радіації хлорофілом листя в цій області спектра, що сприяє кращій ідентифікації дерев у насадженні.



**Рис. 1. Інтерпретація зображення деревостану у тривимірному просторі**

У зв'язку з високим просторовим розрізненням супутникових знімків, використаних у роботі, на першому етапі проведено їхнє фільтрування. Це дозволило позбутися зайвої інформації про затінені ділянки крон та згладити структуру зображення, яка підкреслює небажані деталі та заважає аналізу. Фільтрування зображення від «шумів» виконано за допомогою низькочастотного фільтра (low pass) з розміром матриці 3x3 пікселя. Робота цього інструмента полягає у поступовому переміщенні ковзаючого вікна по всьому знімку і присвоєнні центральному пікселю середнього значення яскравості, яке розраховується за даними дев'яти сусідніх пікселів. На

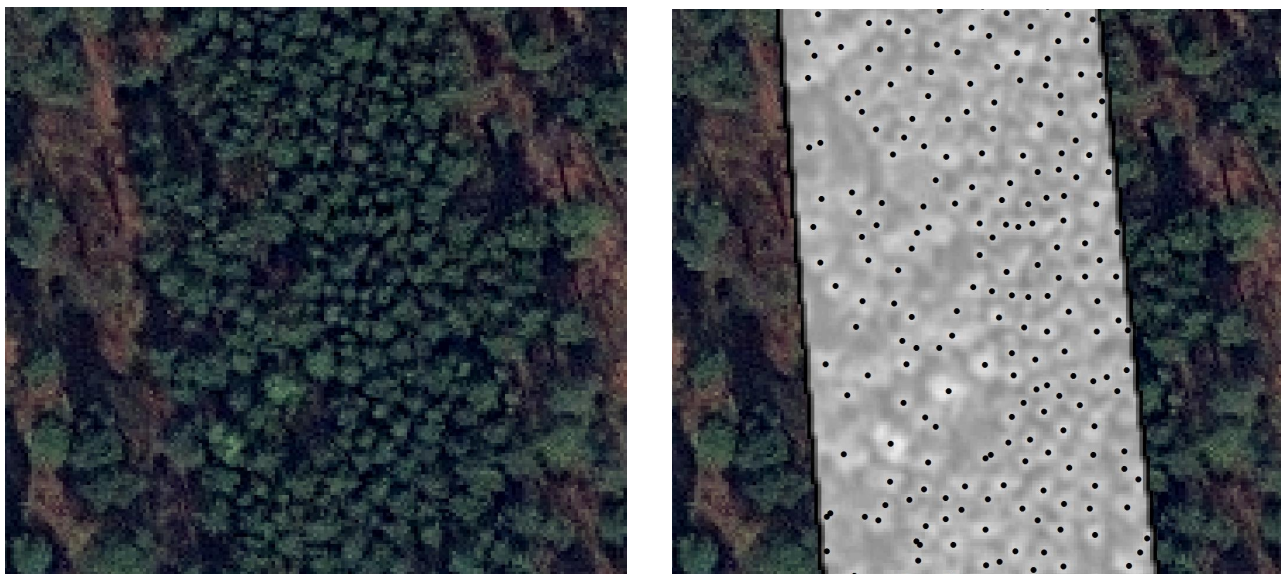
наступному етапі виконано пошук локальних максимумів за допомогою фільтра уточнення краю (edge detection) з розміром вікна 5x5 та 3x3 пікселів. Для забезпечення кращого розпізнавання верхівок крон операції фільтрування повторювалися двічі.

Під час виділення крон у соснових деревостанах взято за основу метод експертної класифікації, реалізований у програмному продукті для обробки даних ДЗЗ Erdas Imagine 10.1. Запропонований алгоритм було використано з граничним значенням яскравості відтінку сірого кольору 300 та значенням індексу NDVI більше 0,3. Вегетаційний індекс NDVI включено задля уникнення помилкової ідентифікації інших об'єктів, що не належать до рослинного покриву. Варто зауважити, що порогові значення цих показників підбираються експериментальним шляхом і залежать від індивідуальних характеристик космічного знімка та умов освітлення на момент знімання. Як правило, завищене значення спектральної яскравості призводить до утворення кількох максимумів для одного дерева, а занижене – до злиття пікселів, які належать кронам сусідніх дерев. Після класифікації отримали зображення у вигляді ізольованих сегментів, що відмежовують крони дерев. На завершальному етапі одержаний растр перетворено у полігональний шар, а після цього – в шар точкових об'єктів (точки – центроїди полігонів).

Для уточнення результатів розпізнавання дерев та виключення можливості повторної їх ідентифікації виконано об'єднання локальних максимумів, що знаходяться в межах однієї крони дерева. Для цього в радіусі, який відповідає трьом пікселям, розраховано щільність точок на 1 м<sup>2</sup>. За допомогою відповідних інструментів ArcGis (перекласифікація – reclass) були відібрані всі значення більше 0,5 та об'єднані в один клас. Після цього за вище описаним алгоритмом створено новий шар точкових об'єктів (рис. 2).

У загальному вигляді запропонована у роботі методика складається з таких послідовних етапів: 1) попередня обробка знімка та видалення відкритих ділянок лісових насаджень; 2) вибір оптимального спектрального каналу для аналізу; 3) фільтрація зображення з метою зменшення «зернистості»; 4) пошук

локального максимуму яскравості та ідентифікація дерев.



**Рис. 2. Приклад дешифрування дерев у сосновому деревостані**

**Результати дослідження.** Точність дешифрування визначалася за загальноприйнятими методиками [6] і полягала в статистичному аналізі даних, одержаних дистанційними та наземними методами. У результаті було обчислено частку безпомилково виділених дерев порівняно із фактичною їхньою кількістю у насадженні (producer's accuracy) та отриманою під час дешифрування (user's accuracy). В теорії перевірки статистичних гіпотез зазначені показники відомі як імовірність появи помилок першого та другого роду [3]. Точність ідентифікації дерев у чистих соснових деревостанах наведено в табл. 2.

## **2. Точність розпізнавання дерев за супутниковими знімками**

Номер ділянки	Кількість дерев у насадженні, шт:га <sup>-1</sup>			Точність, %	
	фактична	за даними дешифрування	безпомилково виділених	producer's accuracy	user's accuracy
1.	570	561	499	87,5	88,9
2.	412	420	392	95,1	93,1
3.	585	562	500	85,5	89,0
4.	493	527	453	91,9	86,1
5.	425	535	390	91,8	72,9
6.	447	540	407	91,0	75,3
7.	394	500	338	85,7	67,5
8.	262	376	124	47,2	32,8
9.	129	337	23	17,9	6,8

Порівнюючи показники дешифрування можна стверджувати, що із збільшенням віку деревостанів точність ідентифікації дерев за даними ДЗЗ значно знижується. На пробних площах, вік яких перевищує 100 років, існує висока ймовірність завищення оцінки кількості дерев. У першу чергу це пояснюється значним діаметром крон, які можуть мати кілька локальних максимумів. Розмір матриці 3x3, що використовується при згладжуванні всього зображення, недостатній для отримання задовільних результатів у стиглих і перестійних насадженнях. З іншого боку, збільшення її розміру може призвести до втрати інформації у молодших деревостанах. Опираючись також на результати візуального дешифрування знімків, встановлено, що запропонований підхід забезпечує коректні результати для соснових деревостанів віком від 30 до 90 років.

### **Висновки**

Використана у роботі методика аналітичного дешифрування матеріалів супутникової зйомки аргументовано підтверджує можливість ідентифікації дерев у соснових деревостанах. Досить перспективним надалі може стати аналітично-вимірювальне дешифрування даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення із визначенням детальної лісівничо-таксаційної характеристики деревостанів. Отже, можна стверджувати, що подальший розвиток теорії дистанційного обліку лісів має опиратися як на класичні принципи візуального аналітично-вимірювального дешифрування космічних знімків, так і нові методи їхньої цифрової обробки.

### **Список літератури**

1. Высокие технологии XXI века для аэрокосмического мониторинга и таксации лесов. Задачи исследований и перспективы использования / [И. М. Данилин, Е. М. Медведев, Н. И. Абэ и др.] // Лесная таксация и лесоустройство. – 2005. – № 1(34). – С. 28–39.
2. Лісівничо–таксаційна оцінка та картування деревостанів за допомогою



- польової ГІС "Field–Map" / [І.Ф. Букша, В.П. Пастернак, Т.С. Мешкова, та ін.] // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук.–техн. зб. Вип.30. – Львів: НЛТУ України, 2006. – С. 240–245.
3. Никитин К. Е. Методы и техника обработки лесоводственной информации / К. Е. Никитин, А. З. Швиденко – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с.
  4. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие / [И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др.] – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
  5. Automated tree recognition in old grown conifer stands with high resolution digital imagery / D. G. Leckie, F. A. Gougeon, S. Tinis et al. // Remote sensing of Environment. – 2005. – № 94. – P. 311–326.
  6. Congalton R. Assessing the accuracy of remotely sensed data : Principles and practices / R. Congalton, K. Green. – NY, 2008. – 183 pp.
  7. Gougeon F. A. The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area / F. A. Gougeon, D. G. Leckie // Photogrammetric Engeniring & Remote Sensing. – 2006. –Vol. 72. – № 11. – P. 1287–1297.
  8. Gougeon F. A. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images / F. A. Gougeon // Can. J. Remote Sensing. – 1995. – Vol. 21. – № 3. – P. 274–284.
  9. Pouliot D. Approaches for optimal automated individual tree crown detection in regenerating coniferous forests / D. Pouliot, D. King // Can. J. Remote Sensing. – 2005. – Vol. 31. – № 3. – P. 255–267.

**Усовершенствование технологии таксационного дешифрирования  
спутниковых снимков высокого пространственного разрешения**

**Д.В. Гилитуха**, аспирант

**В.В. Миронюк**, кандидат сельскохозяйственных наук

*Рассмотрены методические принципы аналитического дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) сверхвысокого пространственного разрешения. Используя результаты цифровой обработки спутниковых снимков GeoEye-1 и QuickBird, определена точность идентификации деревьев в чистых сосновых древостоях зеленой зоны г. Киева.*

**Ключевые слова:** сосновые древостои, данные ДЗЗ, лесотаксационное дешифрирование, классификация снимков.

**Improvement of technology of high resolution satellite image  
interpretation for forestry application**

**D. Gilitukha, V. Myroniuk**

*This paper describes the methodological principles of image analysis of high resolution remote sensing data. It also presents the accuracy results of digital image processing of GeoEye-1 and Quickbird data for trees identification in pure pine stands of Kyiv green zone*

**Key words:** pine stands, remote sensing data, image interpretation, image classification.