

2. Гордецька С.П., Юла В.М. Баланс фосфору і калію залежно від удобрення культур сівозміни та рівні їх продуктивності // Вісн. аграрної науки Південного регіону. — Одеса. — 2005. — С. 39–42.
3. Дегодюк С.Е. Вплив вторинної продукції рослинництва на ефективну родючість ґрунту за тривалого використання добрив / С.Е. Дегодюк, М.І. Ткачук, Л.В. Бобер, О.А. Літвінова // Зб. наук. пр. ІЗ УААН. — К., 2003. — Вип. 3. — С. 13–16.
4. Вплив тривалого використання добрив на фізико-хімічні показники сірого лісового ґрунту / С.Е. Дегодюк, Л.В. Бобер, О.А. Літвінова та ін. // Сучасний стан ґрунтового покриття України та шляхи забезпечення його сталого розвитку на початку 21-го століття: Тези доп. — Харків, 2006. — С. 39–41.
5. Заришняк А.С. Відтворення родючості ґрунту і продуктивність цукрових буряків / А.С. Заришняк, А.О. Сипко // Вісн. аграрної науки. — 2008. — № 8. — С. 16–19.
6. Земельні ресурси України / За ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. — К.: Аграрна наука, 1998. — 150 с.

УДК 630\*53/\*58

## ПАРАМЕТРИЧНА СТРУКТУРА СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ НАДВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ

Д.В. Гілітуха\*

*здобувач, молодший науковий співробітник*

П.І. Лакида

*доктор сільськогосподарських наук, професор**директор ННІ лісового та садово-паркового господарства**Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Розглянуто методичні принципи лісотаксаційного дешифрування супутникового знімка Quick-Bird. За результатами дешифрування встановлено точність ідентифікації дерев та розроблено математичні моделі оцінювання параметричної структури деревостану й окремого дерева.*

**Ключові слова:** *лісотаксаційне дешифрування, площа живлення, параметрична структура, соснові деревостани.*

У вирішенні завдань, поставлених перед світовою спільнотою для забезпечення сталого розвитку людства, одне з найважливіших місць посідають раціональне та збалансоване використання лісових ресурсів, збереження їхньої стійкості та продуктивності. Результативність та ефективність здійснення такого кроку істотно залежать від забезпеченості інформацією про стан лісів.

Статистика лісових ресурсів, яку одержують при проведенні лісовпорядних робіт, часто не відображає змін у лісовому покритті, вона фрагментарна й недостатня. У цьому випадку дані ДЗЗ відіграють важливу роль у процесі отримання достовірної та актуаль-

ної інформації про ліси [1, 4, 9]. Успішність тематичного застосування даних ДЗЗ залежить не тільки від достовірного виявлення об'єктів спостережень, а й від інтерпретації отриманих результатів з урахуванням наукового обґрунтування.

Дослідження параметричної структури насаджень за даними дистанційного зондування належить до лісотаксаційного дешифрування та є одним із найскладніших, оскільки потребує визначення кількісних і якісних характеристик як насаджень, так і окремого дерева. Методичні основи лісотаксаційного дешифрування матеріалів аерокосмічного знімання розроблені давно й успішно використовуються в практиці лісовпорядкування. Проте перехід до застосування сучасних даних та методик полегшить проведення

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

інвентаризаційних робіт та підвищить їхню економічну ефективність.

У цій статті ми пропонуємо увазі читачів удосконалені методичні принципи оброблення супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення та розроблені моделі таксаційних параметрів окремих дерев на основі їхньої просторово-параметричної структури.

Ми використали супутниковий знімок QuickBird та дані таксації семи тимчасових пробних площ у різних за віком насадженнях (табл. 1) із суцільним картографуванням дерев за допомогою польової системи Field-Mar [3]. Апробація методики лісотаксаційного дешифрування космічних знімків виконувалася на пробних ділянках прямокутної форми. Їхній розмір коливався в межах 0,15–0,65 га і залежав від віку, повноти та складу деревостанів. Під час збирання матеріалів значна увага приділялася точному географічному прив'язуванню пробних площ до супутникового знімка.

Досліджувані соснові деревостани є високопродуктивними й характеризуються I та I<sup>a</sup> класами бонітету, що найбільше представлені на підприємстві. Віковий діапазон виділів (50–145 років) залежав від можливості візуальної ідентифікації крон у насадженні за супутниковим знімком.

Основи класичного лісотаксаційного дешифрування побудовані на ідентифікації дерев у насадження та аналізі їхнього просторового розміщення [1, 4, 5, 8, 10]. Дешифрування даних ДЗЗ з метою одержання інформації про розміщення дерев залежить від особливостей розподілу інтенсивності освітлення різних частин намету деревостану (F.A. Gougeon, [8]; A. Carleer, [9]; D. Pouliot, [10]). Цілком закономірно, що най-

освітленіші у насадженні верхівки крон, а проміжки між ними затінені [1]. У такому випадку завдання ідентифікації дерев полягає у виділенні на зображенні локальних максимумів, тобто значень пікселів з приблизно однаковим рівнем сигналу. Загальний вигляд цієї методики включає в себе кілька послідовних етапів: 1) попереднє оброблення знімка та виділення меж лісових насаджень; 2) вибір оптимального спектрального каналу; 3) фільтрація знімка з метою зменшення «зернистості»; 4) пошук локальних максимумів яскравості та ідентифікація дерев.

Точність ідентифікації дерев за даними супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення значно знижується із збільшенням віку деревостанів. Причиною цього є значні діаметри крон, які можуть мати кілька локальних максимумів. За результатами візуальної та статистичної оцінки автоматичного дешифрування знімків встановлено, що запропонований підхід забезпечує коректні результати для соснових деревостанів віком 30–90 років. Детальний опис та аналіз методики ідентифікації дерев у сосновому насадженні представлено у праці [5].

Наступним кроком під час лісотаксаційного дешифрування є аналіз площі живлення окремого дерева та оконтурювання крон. Високе розрізнення супутникового знімка дає можливість візуально виділити крони дерев у насадженнях віком понад 30 років. Проте класифікація супутникових знімків з метою автоматичного виділення крон дерев має свою специфіку. Традиційні методи класифікації даних ДЗЗ недостатні для виконання такої операції й потребують додаткових даних, а саме: «маски» крон соснових деревостанів, зображення їх текс-

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика пробних площ

Номер ділянки	Номер кварталу	Номер виділу	Площа, га	Склад	Вік, років	Повнота	Запас, м <sup>3</sup>
1	90	3	0,15	10С+Д	55	0,75	420
2	116	4	0,15	10С+Д	63	0,80	501
3	130	12	0,20	10С	84	0,65	490
4	129	1	0,15	10С	90	0,76	558
5	92	18	0,15	10С	100	0,76	554
6	113	3	0,35	10С	135	0,59	409
7	109	1	0,65	10С	145	0,55	460

тури, індексу NDVI, точок центрів крон та полігонів живлення [5, 11].

«Маска» хвойних насаджень створювалася класичними методами класифікації з використанням навчальних вибірок [6]. Індекс NDVI використаний задля уникнення помилкової ідентифікації інших об'єктів [8]. Текстульні ознаки зображення мають важливе значення для поліпшення розпізнавання крон дерев. Ми найкращий результат отримали при використанні високочастотного фільтра «максимум» для панхроматичного зображення з розміром вікна 3x3 пікселі. Цей фільтр застосовують щоб підкреслити високочастотні локальні зміни та виділити межі різких переходів на фоні поступових змін. Подальше використання керованої класифікації дало змогу об'єднати всі дані для аналізу. Значення окремих показників підбирали експериментально. Величина значень пікселя для індексу NDVI становила >160, а для текстурного зображення — >280. Завдяки такому підходу істотно підвищилася точність ідентифікації крон дерев у соснових деревостанах.

Розмежування крон дерева виконувалося в межах полігонів Вороного. Методика їх визначення полягає в побудові полігонів, утворених прямими, перпендикулярними до ліній, що з'єднують дослідне дерево з найближчими «сусідами», причому лінії діляться навпіл. Кількість сторін у таких багатокутників відповідає кількості сусідніх дерев, а, отже, й відстаней між ними.

За даними кореляційного аналізу встановлено значущий (0,75) зв'язок між поліго-

нами Вороного та об'ємом дерева (табл. 2). Це підтверджує попередні дослідження щодо використання полігонів Вороного як площі живлення дерева та дає підстави стверджувати, що об'єм окремого дерева залежить від ступеня забезпеченості рослини оптимальною площею живлення [7].

Результати кореляційного аналізу є основою для моделювання параметричної структури соснових деревостанів. Найтісніші зв'язки виявлено між діаметром дерева і діаметром крони ( $d_{кр}$ )  $r = 0,82$ , між висотою насадження та діаметром  $r = 0,62$ .

Представлення просторової структури насаджень у вигляді площі живлення, кількості дерев на 1 га і діаметра крон дало змогу встановити повноту насадження, діаметр і висоту окремого дерева в насадженні.

Співвідношення площі крон до площі живлення дерева на виділі відображає зімкнутість намету. Так, для насаджень віком від 50 років зв'язок повноти насаджень ( $P$ ) із зімкнутістю вдало описується степеневою функцією, про що свідчить досить високий коефіцієнт детермінації ( $R^2 = 0,91$ ):

$$P = 1,140 - 0,206/P_c^2, \quad (1)$$

де  $P_c$  — зімкнутість намету.

Внаслідок багатоваріантного пошуку оптимального рівняння для опису діаметра стовбура ( $d_{1,3}$ ) від діаметра крони виявилася функція Мічерліха з додаванням вільного коефіцієнта:

$$d_{1,3} = 7,660 + 71,192 \times \times (1 - \exp(-0,002 \times d_{кр})), \quad (2)$$

де  $d_{кр}$  — діаметр крони дерева, см.

Таблиця 2

Кореляційний аналіз дослідних показників

	$s_{ж}, M^2$	$s_{кр}, M^2$	$d_{кр}$	$d_{1,3}$	$h, м$	$N$	$v, M^3$	NDVI
$s_{ж}, M^2$	1,00	—	—	—	—	—	—	—
$s_{кр}, M^2$	0,80	1,00	—	—	—	—	—	—
$d_{кр}$	0,86	0,99	1,00	—	—	—	—	—
$d_{1,3}$	0,74	0,80	0,82	1,00	—	—	—	—
$h, м$	0,41	0,48	0,46	0,62	1,00	—	—	—
$N$	0,69	0,72	0,76	0,75	0,52	1,00	—	—
$v, M^3$	0,75	0,79	0,82	0,99	0,57	0,76	1,00	—
NDVI	-0,39	-0,29	-0,27	-0,13	-0,16	-0,24	-0,15	1,00

Графічна інтерпретація отриманої моделі наведена на рис. 1.

За попереднім аналізом динаміки висоти в насадженнях різного віку виявлено суттєву диференціацію залежно від кількості дерев у насадженні, а отже, — й середньої відстані між ними. Виходячи зі значень множинного коефіцієнта детермінації ( $R^2 = 0,82$ ) та аналізу залишків, адекватною моделлю для встановлення висоти дерев ( $h$ ) у насадженнях різного віку виявилася логарифмічна функція

$$h = a_0 + \log(a_1 \cdot d_{1,3}), \quad (3)$$

де  $a_0, a_1$  — коефіцієнти рівняння;

$$a_0 = 4,492 - 0,057 \cdot s_{жк} + 0,01 \cdot N;$$

$$a_1 = 21,622 + 0,001 \cdot s_{жк} + 0,018 \cdot N,$$

де  $d_{1,3}$  — діаметр дерева, см;  $s_{жк}$  — площа живлення,  $m^2$ ;  $N$  — кількість дерев на 1 га.

Лінія тренда цієї моделі (рис. 2) наближена до розподілу середніх значень висоти. Незначне відхилення спостерігається для дерев діаметром близько 24 і 72 см, що може пояснюватися недостатньою кількістю вихідних даних.

Середньоквадратична помилка отриманих математичних моделей для рівнянь 1 і 2 становила 6,9 і 6,2% відповідно. Перевірка адекватності моделі здійснювалася також за  $F$ -критерієм Фішера. Оскільки для запропонованих моделей розрахункова величина  $F_{факт}$  менша за його критичне значення  $F_{крит}$ , то це дає підстави з імовірністю 0,95 стверджувати про адекватність цих моделей вихідним даним.

## ВИСНОВКИ

1. Супутникові знімки надвисокого просторового розрізнення (1 м і менше) є важливим джерелом інформації для детального вивчення лісових екосистем.

2. Використана в дослідженні методика вивчення параметричної структури насаджень ґрунтується на класичних принципах лісотаксаційного дешифрування мультиспектральних знімків надвисокого просторового розрізнення та цілком аргументовано підтверджує можливість ідентифікації крон дерев у соснових деревостанах.

3. Застосування аналітичного вимірювального дешифрування космічних знімків надвисокого просторового розрізнення дає можливість коректні математичні моделі визначення таксаційних параметрів як деревостану, так і окремого дерева.

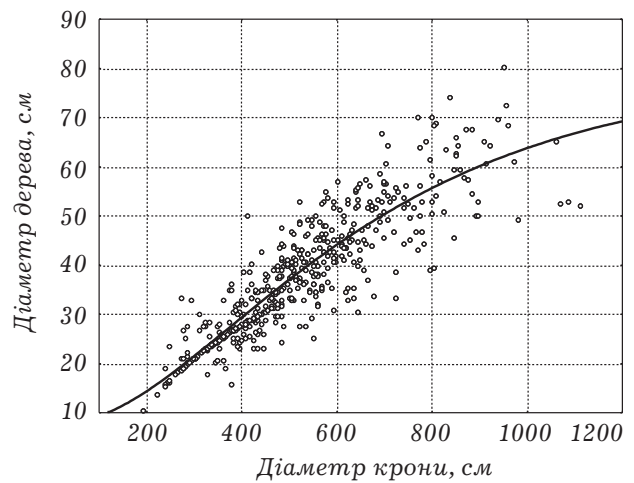
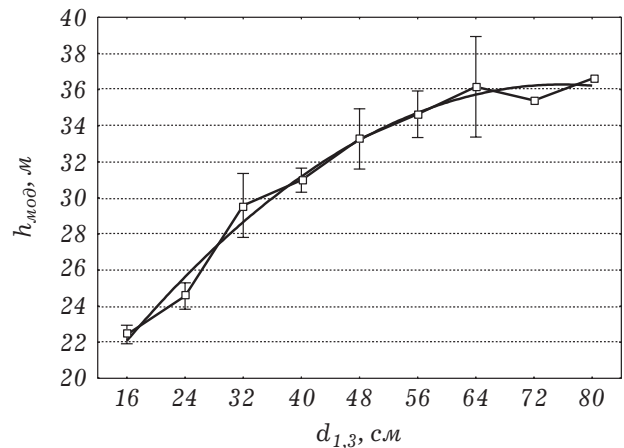


Рис. 1. Математична модель залежності діаметра дерева від діаметра крони



□ — Середнє значення  
 ┆ — Середньоквадратичне відхилення  $\pm 0,95$

Рис. 2. Розподіл середніх значень висоти дерев у соснових деревостанах та їх середньоквадратичні відхилення

4. У процесі лісотаксаційного дешифрування показників параметричної структури деревостанів встановлено, що найбільш значущі залежності при визначенні таксаційних параметрів окремого дерева мають діаметр крони, площа живлення та кількість дерев на 1 га.

5. Головним фактором, який впливає на точність визначення показників параметричної структури деревостанів, є помилка в ідентифікації крони кожного дерева, що зростає зі збільшенням віку деревостанів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев В.А. Световой режим леса / В.А. Алексеев. — Л.: Наука, 1975. — 255 с.



2. Бочаров М.К. Математические основы дешифрирования аэроснимков леса / М.К. Бочаров, Г.Г. Самойлович. — М.: Лесн. пром-сть, 1964. — 222 с.
3. Букша И.Ф. Применение полевой ГИС Field-Mar в лесном хозяйстве Украины / И.Ф. Букша, М. Черны // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. — М.: МГУЛ, 2007. — С. 24–28.
4. 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.
5. Гілітуха Д.В. Удосконалення технологій таксаційного дешифрування супутникових знімків високого просторового розрізнення / Д.В. Гілітуха, В.В. Миронюк // електронний журн. «Наукові доповіді НУБіП України». — 2012. № 7 (36). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012\\_7/12gdv.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12gdv.pdf).
6. Миклуш С.І. Виділення «лісової маски» для Західного Лісостепу України / С.І. Миклуш, С.А. Гаврилюк // Лісівництво і агролісо-ме-ліорація. — Х., 2006. — Вип. 110. — С. 60–66.
7. Швиденко А.З. Теоретические и экспериментальные обоснования системы инвентаризации горных лесов зоны интенсивного ведения хозяйства: [автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук] УСХА. — К., 1981. — 38 с.
8. Carleer A. Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification / A. Carleer, E. Wolf // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. — 2004. — Vol. 70(1). — P. 135–140.
9. Gougeon F.A. The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area / F.A. Gougeon, D.G. Leckie // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. — 2006. — Vol. 72(11). — P. 1287–1297.
10. 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.
11. 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.

УДК 330.15 : 560

## РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПОБІЧНОГО КОРИСТУВАННЯ ЛІСУ — ЗАПОРУКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

*Л.І. Сахарнацька*

*молодший науковий співробітник*

*Закарпатський регіональний Центр соціально-економічних і гуманітарних досліджень  
НАН України*

*У статті розглянуто еколого-економічні особливості використання, охорони та відтворення продуктів побічного лісокористування. Проаналізовано низку заходів, спрямованих на раціональне і довготривале їх використання та відтворення з урахуванням екологічних вимог. Висвітлено роль продуктів побічного користування лісу в контексті сталого розвитку лісових екосистем.*

**Ключові слова:** *природокористування, сталий розвиток лісових екосистем, ліміти, продукти побічного лісокористування, еколого-економічні проблеми галузі.*

Лісові екосистеми відіграють неocenенну роль у житті суспільства. Вони є потужним накопичувачем біологічної маси, одним із основних джерел кисню на Землі, регулятором стоку води, захисником ґрунтів

від ерозії, місцем відпочинку та дозвілля людей.

Недеревні рослини лісу як складова лісових ресурсів є одним із резервів поповнення необхідних для населення продуктів