

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Семка Ігоря Дмитровича

«Метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної
на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки», подану до
спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03 на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12
– дистанційні аерокосмічні дослідження

1. Актуальність теми досліджень. Стале управління лісами вимагає оперативної і достовірної інформації про стан лісів, основні тренди їх структури під дією біотичних і абіотичних факторів - як глобальна зміна клімату, зростання антропогенного навантаження тощо. Наземні методи таксації, які традиційно поки що використовуються в національному лісовпорядкуванні та інвентаризації лісів, не дозволяють отримувати оперативної інформації динаміки таксаційних параметрів деревостанів, особливо фотосинтезуючого апарату та фітомаси в цілому, компонентами якої здійснюються виконання екологічних функцій лісів - поглинання та довготермінове депонування вуглецю і генерування кисню.

З розвитком аерокосмічної техніки останнім часом для визначення фітомаси лісів все частіше застосовують методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які здатні надавати об'єктивну інформацію про запаси і динаміку фітомаси, а у деяких випадках може бути альтернативою наземним методам. Як відомо, двовимірні зображення, які формуються більшістю засобів ДЗЗ, роблять дуже складним процес отримання оцінок розподілу характеристик і параметрів лісових об'єктів вздовж третьої просторової координати – висоти, що негативно відображається на точності оцінювання біотичної продуктивності лісових насаджень. У цьому сенсі відомі лідарні системи, як повітряного, так й наземного базування, дозволяють з більш високою точністю формувати тривимірні моделі місцевості та розташованих на ній об'єктів. Саме вирішенню цієї проблемі присвячені дисертаційні дослідження здобувача, що й свідчить про їх актуальність.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу оцінки фітомаси деревостанів сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*), поширеної на Поліссі та північній частині Лісостепу, за даними авіаційної лідарної зйомки і виконувалась в рамках і у відповідності з планом наукових досліджень ДУ «Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» у рамках чотирьох наукових тематик:

– “Методи дистанційного оцінювання біофізичних параметрів лісових рослинних угруповань та агрофітоценозів в межах різних ландшафтно-кліматичних зон території України” (Державний реєстраційний номер 0114U001664).

– “Оцінювання характеристик рослинних об'єктів на основі комплексування даних спектрополяризаційних вимірювань і матеріалів аерокосмічних зйомок” (Державний реєстраційний номер 0113U004491).

*Українською
02.11.2015*

– “Розробка нових методик моніторингу земних покривів (рослинність, ґрунти, водні ресурси), біорізноманіття в умовах кліматичних змін з метою управління ризиками надзвичайних ситуацій” (Державний реєстраційний номер 0112U000703).

– “Методологія комплексного геоінформаційного аналізу матеріалів аерокосмічних спостережень Землі і наземних даних в інтересах підвищення ефективності природокористування” (Державний реєстраційний номер 0111U000030).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертації. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи зумовлена теоретично обґрунтованою методикою досліджень, значним обсягом дослідних даних. При інтерпретації отриманих результатів та обґрунтуванні їхньої достовірності дисертант широко застосовує методи статистичного аналізу, математичної морфології та геоінформаційного аналізу.

3. Достовірність і новизна основних висновків та рекомендацій дисертаційної роботи. Матеріали, викладені в дисертаційній роботі, є вагомим внеском у дослідження фітомаси дерев і деревостанів як елементу їх біотичної продуктивності з використанням лідарної зйомки.

Достовірність і новизна основних висновків і рекомендацій підтверджена валідацією опрацьованих методик і одержаних результатів на базі дослідної ділянки лісу на території лісництва Мартев надлісництва Тучно Західнопоморського воєводства Польщі спільно з співробітниками факультету математики, інформаційних технологій та ландшафтної архітектури Католицького університету ім. Іоана Павла II (м. Люблін, Польща). Основні положення роботи пройшли широку апробацію на конференціях різного рівня та у наукових публікаціях автора.

4. Новизна і повнота викладу висновків і пропозицій. Автором в результаті проведення досліджень розроблено метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки, при цьому запропоновано метод автоматизованого виділення дерев з використанням воксельного підходу та опрацьовано алгоритм розрахунку об'ємних показників крони. З використанням лідарних даних розроблені рівняння множинної регресії, які дозволяють здійснювати розрахунок діаметра стовбура дерева на висоті грудей. Дисертантом істотно удосконалено методи виділення дерев шляхом комплексування результатів, отриманих при використанні 2,5D та 3D підходів. Опрацьовано методику і адаптовано метод оцінювання індексу листкової поверхні за даними лідара, в основі якого лежить рівняння множинної регресії.

Висновки і пропозиції органічно випливають з результатів досліджень і є цілком обґрунтованими.

5. Полнота викладу матеріалів дисертації. За результатами дисертації опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 6 статей (з яких: 3 – у фахових наукових виданнях України, 3 – у періодичних наукових виданнях Польщі) та 9 тез доповідей у збірниках матеріалів вітчизняних і закордонних наукових конференцій.

6. Ідентичність автореферату дисертації. Представлений автореферат дисертації повністю відповідає змісту й тексту дисертації і є конспективним викладом її змісту.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеності.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаної літератури, що налічує 110 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації – 135 сторінок, основний текст викладений на 115 стор., проілюстрований 39 рисунками та 10 таблицями.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, зокрема щодо необхідності розробки методу оцінки надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*), поширеної на Поліссі та північній частині Лісостепу, за даними авіаційної лідарної зйомки.

Охарактеризовані основні методи досліджень, подана характеристика об'єкту та предмету дослідження, а також наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, публікації, зв'язок роботи з науковими програмами.

У **першому розділі «Задача вивчення біологічної продуктивності деревостанів. Постановка завдання на дослідження»**, який складається із чотирьох підрозділів, подано ґрунтовний аналіз літератури за темою роботи. Автором досить детально охарактеризовані основні таксаційні характеристики деревостану, які передбачено визначати під час досліджень. Акцентовано увагу, що однією з основних складових біотичної (біологічної) продуктивності деревостану є її фітомаса. Проведено аналіз методів визначення фітомаси дерев та деревостанів, що використовуються в таксації.

Розглянуто роль та можливості дистанційних аерокосмічних методів в оцінюванні надземної фітомаси. Проаналізовано переваги і недоліки засобів ДЗЗ. Обґрунтовано вибір активних засобів дистанційного отримання інформації про лісові насадження, а саме авіаційного лідара. Стисло розглянуто принципи авіаційної лідарної зйомки (АЛЗ).

Другий розділ «Методичні основи та алгоритми опрацювання лідарних даних» складається із трьох підрозділів. Встановлено, що опрацювання лідарних даних (ЛД) можливо в двох варіантах: безпосереднє опрацювання первинних даних або отримання растрових чи векторних похідних. Розглянуто можливості опрацювання ЛД у двовимірному (2D), двох з половиною вимірному (2,5D) та тривимірному (3D) опису об'єкта. Розглянуто принцип інтерполяції та фільтрації зображень як головного етапу перетворення ЛД в растр.

Обґрунтовано доцільність використання об'єктно-орієнтованого підходу в обробці даних АЛЗ та вибору методів для опрацювання ЛД - класифікації та перетворенні вододілу. Стисло розглянуто вокセルна модель даних. Виділено групу статистичних параметрів, які далі будуть застосовуватися для регресійного визначення надземної фітомаси деревостанів з використанням ЛД.

Третій розділ «Методологія визначення надземної фітомаси за даними авіаційного лідарного знімання» (складається з чотирьох підрозділів). Опрацьовано і запропоновано алгоритм визначення надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної за даними АЛЗ. Обґрунтовано, що побудова регресійних рівнянь залежності фітомаси має включати аргументами значення висоти дерев, діаметра стовбура на висоті грудей та повноти деревостану.

Розглянуто три варіанти просторового опису об'єкта й алгоритми автоматизованого виділення дерев, які можна реалізувати з використанням геоінформаційних технологій при пошуку локальних максимумів у 2D і 2,5D та методів кластеризації у 3D. Встановлено, що найкращий результат виділення дерев у лісовому масиві можна отримати із застосуванням методу 2,5D, але точніші за просторовими показниками виявилися способи 3D. В результаті досліджень запропоновано виявлення дерев за даними АЛЗ здійснювати шляхом об'єднання 2,5D та 3D підходів.

У четвертому розділі «Методи розрахунку характеристик деревостану для визначення надземної фітомаси за даними авіаційної лідарної зйомки», який складається з п'яти підрозділів, для коректного виділення дерев запропоновано використовувати комплексну модель воксельно-векторної графіки. Для реалізації методу запропоновано аналізувати воксили у 3D не з верхньої частини деревостану, як при аналізі 2,5D, а навпаки – з його нижньої частини. Наступною таксаційною ознакою деревостану було визначення протяжності та об'єму крони. Вхідними даними у цьому випадку використана модифікована хмара точок у векторному форматі файлу.

Дисертантом запропоновано метод дистанційного оцінювання кількісного показника фотосинтезуючої здатності хвої (*LAI*), в основі якого – регресійна модель зв'язку між значеннями *LAI*, отриманими методом обрахунку прогалин з напівсферичної фотографії та параметрами деревостану, отриманими з опрацювання даних АЛЗ.

Опрацьовано схему розрахунку діаметра стовбура дерева на висоті грудей за даними АЛЗ. Розрахунок фітомаси здійснено за алометричними рівняннями. Валідацію розробленого методу оцінювання надземної фітомаси за даними АЛЗ було проведено з використанням багаторазового статистичного оцінювання деревної фітомаси методом Монте-Карло.

Значний обсяг експериментального матеріалу, наукова інтерпретація та широке застосування методів статистичного аналізу, дозволили автору зробити **висновки**, які цілком повно відображають основні результати досліджень, виконаних дисертантом.

Оцінюючи загалом високий науковий і науково-методичний рівень дисертаційної роботи, варто, на нашу думку, звернути увагу на деякі **зауваження і побажання**:

1. Таксаційна характеристика досліджуваного насадження неповна, що ускладнює сприйняття результатів дослідження (ст. 62). У роботі зазначено лише інформацію про склад (10Сз+Бп) і вік деревостану (52 років). Враховуючи, що в завданнях досліджень задекларовано визначення таких таксаційних показників, як діаметр і висота кожного дерева, середній діаметр і висота деревостану, сума площ перерізів, повнота тощо, доцільно було б представити інформацію про їхні середні значення та мінливість у насадженні.
2. Не зовсім обґрунтованим є спосіб визначення повноти насадження (результати наведені на ст. 110, методика – по тексту). Автор обрав достатньо складний і, очевидно, неточний алгоритм розрахунку цього показника. Малоямовірною здається можливість достовірного визначення

суми площ перерізів у насадженні в чотири етапи: 1) дешифрування середньої висоти деревостану за даними LIDAR; 2) ідентифікація дерев у насадженні за зображеннями їхніх крон; 3) пошук регресійної залежності між діаметром кожного дерева (визначеного наземною лідарною зйомкою!) та параметрами їхніх крон; 4) відтворення розподілу дерев за ступенями товщини та обчислення суми площ перерізів. У такому випадку до оцінки суми площ перерізів дерев на кожному етапі буде вноситися помилка. При цьому сам автор відзначає, що при використанні запропонованого підходу «... неможливо виділення дерев у нижніх шарах лісу, де їх пригнічують домінуючі крони» (цит. ст. 82), тобто очевидною є помилка вже на початку досліджень.

Більш доцільним у цьому випадку було б встановлення відносної повноти деревостану через зімкнутість крон деревного намету – показника, який під час аналітично-вимірювального дешифрування даних ДЗЗ визначається найбільш точно, адже мінливість відносних показників завжди буде меншою порівняно з їхніми абсолютними аналогами.

3. Дані таблиці 4.2 суперечать характеристиці насадження, яка дається в роботі. На ст. 87 відзначено, що «... на території дослідження немає розвинених нижніх ярусів, в тому числі підліску ...», проте діапазон мінливості діаметрів (від 4 до 44 см) і висот (від 4 до 32 м) дерев у насадженні, свідчить про наявність, щонайменше, підросту. Очевидно ця ж причина призводить до низького значення коефіцієнта кореляції (0,26) між діаметрами і висотами дерев у насадженні (табл. 4.1)
4. Переваги наземної лідарної зйомки для вимірювання діаметрів дещо переоцінені. Щодо використання цієї технології в лісі можна погодитися лише в контексті визначення просторового положення окремого дерева (ст. 99). Вимірювання діаметра дерев традиційними лісівничими методами за допомогою мірної вилки є простим і точним.
5. Результати розрахунку таксаційних показників у табл. 4.4 не узгоджуються із загальновідомими таксаційними закономірностями. Елементарний розрахунок доводить, що середній діаметр (23,9 см), сума площ перерізів і кількість дерев на 1 га не узгоджуються між собою:

$$D = 200 \cdot \sqrt{\frac{G}{\pi \cdot N}} = 200 \cdot \sqrt{\frac{22,1}{3,1416 \cdot 432}} = 25,5 \text{ см.}$$

6. Поняття повнота, густота, зімкнутість насадження ототожнюються (наприклад, ст. 15, 110).
7. Використаний спосіб розрахунку компонентів фітомаси деревостану акумулює в собі помилки оцінки таксаційних показників окремого дерева. Унормованою вважається оцінка компонентів наземної фітомаси деревостанів через середні значення таксаційних показників деревостану.
8. Класичні лісотаксаційні формули наведено з помилками. У формулі (1.3) представлено розрахунок середнього арифметичного значення висоти у насадженні (незрозумілий для лісової таксації показник), а не видова висота. Використовуються невідомі для таксаційної науки позначення показників, до того ж, у формулах (1.2 і 1.3) замість P_T , очевидно, мало б використовуватися видове число F , а не повнота.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Семка Ігоря Дмитровича «Метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки», є завершеною кваліфікаційною науковою працею, виконаною на актуальну тему. Автором отримані теоретичні та практичні результати проведених особисто досліджень з опрацювання методики та її реалізації при застосування авіаційної лідарної зйомки для визначення надземної фітомаси соснових деревостанів. Відмічені зауваження не зменшують наукової цінності та важливого практичного значення дисертації.

Аналіз опублікованих автором робіт підтверджує відбиття у їх змісті основних положень дисертації. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи.

Вважаю, що дана дисертаційна робота відповідає вимогам п. 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 щодо кандидатських дисертацій. Автор роботи, Семко Ігор Дмитрович, за рівнем теоретичної підготовки, обізнаністю з науковою літературою, освоєнням сучасних наукових методик і здатністю самостійно вирішувати наукові завдання з технічних проблем заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження.

Офіційний опонент,

доктор сільськогосподарських наук, професор,

директор ННІ лісового і

садово-паркового господарства, професор

кафедри лісового менеджменту

Національного університету біоресурсів і

природокористування України

П. І. Лакида

30.10.2015 р.

