

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Задорожнюка Романа Михайловича на тему: «**Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА**»,

що подана на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 205 «Лісове господарство»
(галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»)

Актуальність теми. Інформаційною основою для збалансованого ведення лісового господарства є комплексні та об'єктивні дані про стан та продуктивність лісів. Результати досліджень застосування дистанційних технологій для оцінювання лісових ресурсів свідчать про необхідність впровадження нових методологічних підходів і методів встановлення таксаційних показників лісових насаджень за допомогою безпілотних технологій.

Впровадження дистанційних технологій у лісовому господарстві є перспективним для зменшення витрат на проведення інвентаризації лісових ресурсів. Крім того, такі технології необхідні для виконання оцінки на важкодоступних територіях та безпечної роботи на ділянках із підвищеним ризиком для життя і здоров'я працівників. Динамічні зміни лісових насаджень на території Чорнобильської зони відчуження, яка забруднена радіонуклідами, потребують постійного відстеження, що можна забезпечити, використовуючи дані, отримані з допомогою БПЛА.

Для успішного впровадження використання даних дистанційної стереограмметричної зйомки в лісовому секторі є потреба в апробації методів оцінювання таксаційних показників у насадженнях головних лісоутворювальних деревних видів України.

Наукова новизна. Проведені здобувачем наукові дослідження з використанням сучасних БПЛА та дистанційної стереограмметричної зйомки для інвентаризації соснових насаджень дали можливість розробити методичні підходи до встановлення таксаційних показників і компонентів фітомаси деревостанів за даними зйомки з БПЛА. Цінним, на наш погляд, також

є параметризація збору даних дистанційної зйомки з БПЛА для соснових деревостанів та обґрунтовано вибір статистичних показників розподілу цифрової моделі намету (СНМ) та даних дешифрування дерев для моделювання таксаційних показників деревостанів сосни звичайної.

Результати проведених здобувачем досліджень мають очевидне **практичне значення**. Так, автором дисертації представлено підходи, які можна застосовувати для визначення кількості дерев, зімкнутості намету і відносної повноти, оцінювання запасу стовбурів та компонентів надземної фітомаси соснових деревостанів. Результати роботи можна використовувати для проведення лісотаксаційних робіт на важкодоступних територіях та ділянках з підвищеною небезпекою.

Особистий внесок здобувача. Комплексні лісівничо-таксаційні польові та камеральні дослідження виконано особисто автором. Аспірантом сформульовано мету, завдання, проведено аналіз попередніх досліджень інших авторів, експериментальні вимірювання, проаналізовано результати та сформульовано висновки.

Результати досліджень пройшли достатньо широку апробацію і обговорювались на 6 міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях. **Основні результати досліджень** опубліковані у 13 наукових працях, з яких 2 статті у фахових виданнях, 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, 2 патенти України на корисні моделі. Аналіз опублікованих здобувачем робіт свідчить про те, що в них відображено основні положення дисертації.

Про високий ступінь **обґрунтованості основних положень, висновків та рекомендацій** сформульованих у дисертації свідчить, насамперед, те, що у ході дослідження були коректно використані адекватні поставленій меті і завданням методи досліджень. Об'єктивність результатів досліджень і висновків, наведених у дисертації, підтверджується фактичним матеріалом експериментальної частини. Експерименти проведено на достатній кількості вимірювань та коректно опрацьовано статистичними методами.

Слід зазначити, що велика кількість ілюстративного матеріалу (69 рисунків і 19 таблиць) суттєво полегшує сприймання результатів дослідження. Дисертація містить анотацію, вступ, 4 розділи, висновки та рекомендації виробництву, список використаних літературних джерел та додатки.

Загальна характеристика роботи. У Вступі аспірантом сформульовано актуальність теми, мета і завдання досліджень, висвітлено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, наведено відомості щодо апробації та публікації результатів, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі «**Аерофотозйомка лісових насаджень**» автором зроблено огляд теоретичних та історичних передумов застосування дистанційних методів для оцінювання лісових насаджень, глибоко проаналізовано поширені методи дешифрування окремих дерев у насадженні та можливості встановлення їхніх таксаційних показників. Також дисертант детально розглянув основні підходи до моделювання таксаційних показників насаджень, які використовують дані дешифрування окремих дерев у насадженні або застосовують дані розподілу цифрових моделей намету та працюють на основі ділянкового підходу.

Завдяки розвитку технологій роль даних дистанційної зйомки для впорядкування та інвентаризації лісів зростає, постійний розвиток та вдосконалення методів дешифрування окремих дерев дозволяє отримувати більший обсяг інформації про ліси за даними дистанційної зйомки, що розширює можливості їхнього застосування. Дані дистанційної зйомки у поєднанні з наземними дослідженнями лісових насаджень, надають можливість виконувати оцінювання широкого комплексу таксаційних показників деревостанів та їхньої фітомаси. Необхідність оперативного оцінювання стану насаджень створює передумови впровадження дистанційних методів для таксації деревостанів під час проведення інвентаризації та моніторингу лісів. Матеріал викладений в даному розділі дає загальні

уявлення про особливості застосування безпілотних літальних апаратів і технологій для збору даних про лісові екосистеми.

Зауваження до розділу. У підрозділі 1.2 «Сучасні підходи до картування ландшафтів» доцільно було б систематизувати розподіл обладнання для зйомки за типом носія або датчика.

У другому розділі «**Методи та матеріали дослідження**» дисертації наведено програму, об'єкти та методику досліджень, а також характеристику соснових лісів Полісся. Розроблена здобувачем програма робіт свідчить про великий обсяг запланованих наукових досліджень, на яких можуть базуватися обґрунтовані висновки.

Для дослідження закладено 58 пробних площ, які представлені природними та штучними насадженнями сосни звичайної, що дає можливість встановити особливості застосування даних із БПЛА для оцінювання лісів, створених до аварії на ЧАЕС, а також колишніх сільськогосподарських угідь, на яких відбуваються природні сукцесійні процеси. Такий розподіл пробних площ дозволяє оцінити можливості застосування технологій стереограмметричної зйомки з БПЛА для деревостанів із контрастними таксаційними показниками.

Автором застосовувалися спеціальні методи дослідження: лісотаксаційні – для визначення біометричних показників дерев на пробних площах та таксаційних показників деревостанів; дистанційного зондування Землі – для здійснення оптичної дистанційної зйомки дослідних деревостанів з допомогою БПЛА. Для обробки зображень, їхнього перетворення у геоінформаційні дані використовувалися методи фотограмметрії.

Таксаційні показники деревостанів за даними дистанційної зйомки визначалися за допомогою методів статистичного аналізу та моделювання. Для узагальнення результатів дослідження (встановлення оптимальних параметрів зображень дистанційної зйомки, проведення порівняння між підходами, які використовували для встановлення таксаційних показників

деревостанів та компонентів їхньої фітомаси) застосовували методи синтезу, порівняння та аналізу.

Зауваження до розділу. 1) Аналізуючи соснові деревостани Полісся, дисертант наводить дані за областями у цілому, хоча вони не повністю належать до цієї зони, а Харківська область розташована у зоні Лісостепу і Степу.

2) Оскільки дослідження виконано у Чорнобильській зоні відчуження та безумовного відселення, поряд із просторовою характеристикою дослідних полігонів, доцільно було б вказати рівні забруднення радіонуклідами територій, на яких розташовані дослідні ділянки.

3) Доцільно було б навести типи лісорослинних умов та відносні повноти на пробних площах, що могло б бути додатковим поясненням особливостей лісових насаджень.

Третій розділ роботи **«Точність дешифрування таксаційних показників за зміни параметрів зйомки з БПЛА»** присвячено встановленню залежностей таксаційних показників соснових деревостанів від вихідних статистик СНМ та оцінюванню таксаційних показників деревостанів за даними дешифрування дерев.

Встановлено, що для досліджень лісових насаджень потрібно дотримуватися технології збору даних дистанційної зйомки з поздовжнім перекриттям зображень не менше 90 %. Зменшення перекриття зображень призводить до неможливості вирівнювання зображень, погіршення можливості класифікації рельєфу в лісових насадженнях, а також до зменшення кількості точок на одиницю площі щільної хмари.

Зміна параметрів збору даних дистанційної оптичної зйомки впливає на розподіл вихідних цифрових моделей намету. Тому, крім витрат часу при виборі параметрів збору оптичних даних дистанційної зйомки, необхідно враховувати можливість якісного відтворення структури лісових насаджень за отриманими матеріалами зйомки.

Між вхідними зображеннями з просторовим розрізненням 2,2 та 3,3 см із дотриманням ідентичного перекриття не виявлено відмінностей у частці класифікованого рельєфу. Автором встановлено, що дешифрування верхівок окремих дерев сосни звичайної, які займають панівне положення в деревостані та визначення їхніх таксаційних показників можна виконувати за допомогою методів пошуку локальних максимумів СНМ растрів.

За результатами досліджень встановлено, що дані дистанційної зйомки з вищим просторовим розрізненням за рядом критеріїв найсприятливіші для визначення таксаційних показників соснових деревостанів. За матеріалами зйомки з висоти 80 м (просторове розрізнення 2,2 см) отримано найменші похибки визначення висоти та дешифрування верхівок.

Зауваження до розділу. Оскільки рис. 3.7 і 3.8 займають повні альбомні сторінки, їх доцільно помістити в додатках. Для трансект зображених на рис. 3.9 слід було б навести розмірну шкалу. На рис. 3.10, поряд з ортофото-планом, бажано було б навести зображення цифрової моделі намету пробної площі.

У четвертому розділі **«Моделювання таксаційних показників деревостанів»** проведено аналіз просторового розміщення та форм крон намету деревостану, встановлено залежності між таксаційними показниками соснових деревостанів та вихідними статистиками СНМ і даними дешифрування дерев.

Дисертантом зокрема встановлено, що дані статистичного розподілу цифрової моделі намету та ідентифікації окремих дерев дають змогу визначати такі таксаційні показники насаджень, як середній діаметр, зімкнутість, суму площ поперечних перерізів, відносну повноту, стовбуровий запас та запас компонентів фітомаси соснових деревостанів. Показники можна встановлювати за даними статистичного розподілу цифрової моделі намету та даними дешифрування окремих дерев. Такі підходи апробовані на ділянках із різним походженням та таксаційними показниками.

У штучних насадженнях сосни звичайної отримано точніші показники дешифрування верхівок окремих дерев, ніж у природних, що пояснюється особливостями їхнього розташування та будови.

Наявність широких крон дерев у рідколіссях, їх групове розміщення призводить до дешифрування хибних верхівок. Також виявлено проблеми ідентифікації та оцінювання низьких дерев за допомогою методів фотограмметрії. Тому дослідження деревостанів з висотою до 5 м потребує проведення додаткового калібрування та визначення необхідних параметрів вхідних зображень дистанційної зйомки.

Найменші відхилення прогнозованих значень, за даними БПЛА, отримано для визначення показника середньої висоти та середніх діаметрів деревостану. Для підвищення точності оцінювання таксаційних показників у деревостанах із відносною повнотою, меншою за 0,4 необхідно застосовувати показник зімкнутості деревостанів або коефіцієнт варіації СНМ.

Зауваження до розділу. 1) У підрозділі 4.1 продемонстровано можливості встановлення показників крони дерев за даними дистанційної зйомки, однак під час моделювання таксаційних показників деревостанів використано лише показник середнього діаметра крони дерев. Доцільно використати й інші встановлені показники крони дерев, встановлені у підрозділі 4.1 для моделювання компонентів надземної фітомаси.

2) У підрозділі 4.4 для порівняння похибок оцінювання таксаційних показників деревостанів результати згруповані за ступенями відносної повноти: до 0,4; 0,4–0,8; >0,8. Доцільно було б виконати розподіл за рівними класами відносної повноти, наприклад, через 0,2.

3) У дисертації трапляються поодинокі граматичні та стилістичні помилки, невдалі вирази.

Висновки і рекомендації містять 11 пунктів, які логічно узагальнюють результати дисертаційних досліджень, базуються на аналізі експериментальних даних, відзначаються послідовністю, містять наукову новизну.

Водночас, у першому висновку міститься рекомендація щодо поздовжнього перекриття зображень на рівні 90 % і вище, що потім повторюється.

Список використаних джерел містить 184 найменувань, з яких 157 – латиницею. Список оформлений згідно з вимогами та представляє публікації вітчизняних та іноземних авторів з досліджуваної тематики.

Деякі роботи у списку використаних джерел наведено латиницею, хоча у збірниках вони викладені українською мовою.

Додатки до дисертації викладені в роботі на 14 сторінках. Таблиці додатків оформлені згідно вимог, доповнюють і додатково обґрунтовують отримані результати і висновки.

Структура, обсяг та оформлення представленої дисертації загалом відповідають встановленим вимогам. Матеріали дисертації викладено аргументовано і у повному обсязі. Анотація роботи достатньо повно відбиває зміст дисертації.

Виявлені окремі недоліки і наведені зауваження не впливають на загальну оцінку дисертації, зміст сформульованих висновків і рекомендацій.

Загальний висновок. Дисертація Р. М. Задорожнюка на тему «Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 205 «Лісове господарство» є завершеною науково-дослідною працею, яка спрямована на вирішення актуальних питань щодо застосування БПЛА для таксації соснових деревостанів і практичної реалізації дистанційної стереограмметричної зйомки.

Вважаю, що рецензована дисертація Р. М. Задорожнюка на тему: «Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА» за сукупністю якісних і формальних ознак щодо актуальності теми, обґрунтованості наукових положень і практичного значення відповідає вимогам, передбаченим Наказом Міністерства освіти та науки України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а також Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого

постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022, а її автор – **Задорожнюк Роман Михайлович** – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 205 «Лісове господарство» (галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»).

**Головний науковий співробітник
відділу інвентаризації лісів, моніторингу,
сертифікації та лісовпорядкування
Українського ордена «Знак Пошани»
науково-дослідного інституту лісового господарства
та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького,
доктор сільськогосподарських наук,
професор**

Володимир ПАСТЕРНАК

17 липня 2023 р.

Підпис В. П. Пастернака засвідчую

Вчений секретар УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького

 О. В. Кобець

