

РЕЦЕНЗІЯ
на дисертаційну роботу
Лелеки Дмитра Юрійовича
на тему «**Акумуляція органічного Карбону у старовікових лісах**
Вододільно-Верховинського хребта (Українські Карпати),»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 10 – Природничі науки
за спеціальністю 101 – Екологія

Актуальність теми дисертації.

Формування запасів органічного Карбону в лісових екосистемах безпосередньо пов'язане з основними фізіологічними процесами рослин. Первинне зв'язування Карбону відбувається у процесі фотосинтезу, тоді як його подальший розподіл у рослинному організмі визначається інтенсивністю росту, співвідношенням асиміляційних і дихальних процесів, тривалістю функціонування органів і тканин та загальною продуктивністю деревостану. У міру старіння й відмирання рослинної біомаси частина накопиченого Карбону переходить до мертвої деревини, лісової підстилки та ґрунту. Тому структура запасів органічного Карбону у старовікових лісах відображає інтегральний результат тривалого функціонування рослинного компонента екосистеми та співвідношення процесів продукції, дихання, росту і відмирання.

У дисертаційній роботі Дмитра Юрійовича Лелеки ці процеси оцінено через кількісну характеристику запасів органічного Карбону у фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті. Особливий інтерес з фізіологічної точки зору становлять встановлені зв'язки запасів Карбону з віком і структурою деревостанів, оскільки вони відображають зміни продукційного потенціалу лісових екосистем у процесі їх тривалого розвитку.

Актуальність виконаного дослідження визначається також необхідністю кількісного оцінювання ролі природних старовікових лісів у тривалому акумулюванні Карбону та встановлення чинників, які визначають співвідношення між його основними резервуарами.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає насамперед у комплексному дослідженні запасів органічного Карбону в основних компонентах старовікових лісових екосистем Вододільно-Верховинського хребта та у встановленні особливостей їх просторового розподілу залежно від віку деревостанів, умов місцезростання та характеру антропогенного впливу.

Суттєвим результатом є поєднання оцінок Карбону живої фітомаси, підстилки, грубих деревних залишків і ґрунту в межах єдиної системи дослідження. Це дає можливість аналізувати не лише величину окремих резервуарів, але й їх співвідношення та взаємозв'язок. Також автором показано домінуючу роль фітомаси у формуванні сумарних запасів Карбону та

встановлено сильний позитивний зв'язок між віком деревостанів і запасами Карбону, насамперед у фітомасі.

З фізіологічної точки зору це дає можливість розглядати вікову структуру деревостанів як інтегральну характеристику тривалого накопичення продуктів фотосинтетичної діяльності рослин.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих даних як референтної основи для оцінювання карбонових запасів лісових екосистем, порівняння старовікових та експлуатованих деревостанів, а також для природоохоронного планування і вдосконалення моніторингу вуглецевих резервуарів. Саме такі напрями застосування результатів визначені автором у дисертації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Лелеки Дмитра Юрійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 101 – Екологія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми ОП 366452 «Освітньо-наукова програма підготовки доктора філософії в Інституті екології Карпат НАН України за спеціальністю 101 – Екологія».

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Вона має логічну структуру і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 13 таблиць і 14 рисунків; список використаних джерел налічує 175 найменувань, у тому числі 98 джерел латиницею. Загальний обсяг дисертації становить 191 сторінку.

Позитивною рисою є поєднання автором польових, лабораторних, лісівничо-таксаційних, картографічних та статистичних методів. Запаси органічного Карбону оцінювалися у фітомасі деревного, чагарникового й трав'яного ярусів, мертвій деревині, лісовій підстилці та ґрунті.

У **вступній частині** автор послідовно обґрунтовує актуальність теми, формулює мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, характеризує використані методи, наукову новизну, теоретичне і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача та апробацію результатів. Мета дослідження відповідає заявленій темі й спрямована на оцінювання закономірностей акумуляції органічного Карбону у старовікових лісових екосистемах Вододільно-Верховинського хребта, характеристику його запасів в основних компонентах екосистеми та встановлення чинників їх просторової мінливості.

У **першому розділі** узагальнено сучасні уявлення про роль лісових екосистем у глобальному та регіональному циклах Карбону. Розглянуто історію досліджень органічного Карбону, особливості його акумуляції в рослинній біомасі, мертвій органічній речовині та ґрунті, а також значення лісів у регуляції атмосферного CO₂. З позицій фізіології рослин важливим є те, що автор розглядає фітомасу як первинний резервуар біологічно зв'язаного Карбону, сформований унаслідок фотосинтетичного засвоєння CO₂, а

подальший перехід Карбону до підстилки, мертвої деревини та ґрунту — як результат відмирання й трансформації рослинної речовини.

Таким чином, літературний огляд створює достатню теоретичну основу для подальшого аналізу співвідношення між продукційним і детритним блоками лісової екосистеми.

У **другому розділі** наведено характеристику природних умов території досліджень — географічного положення та рельєфу Вододільно-Верховинського хребта, кліматичних особливостей, ґрунтового покриву та рослинності. Охарактеризовано чинники середовища, які визначають формування і функціонування лісових екосистем досліджуваної території та створюють передумови для просторової диференціації запасів органічного Карбону. Для інтерпретації фізіологічних процесів така характеристика має важливе значення, оскільки температурний режим, вологозабезпечення, тривалість снігового періоду, властивості ґрунту та породний склад безпосередньо впливають на інтенсивність фотосинтезу, дихання, росту й відмирання рослинної біомаси. Автор показує виражену екологічну асиметрію північного і південного макросхилів. Відмінності у породному складі, віковій структурі та умовах місцезростання створюють різні передумови для формування запасів фітомаси та надходження рослинної органічної речовини до детритного блоку. Разом з тим ці чинники діють комплексно, тому в подальшій інтерпретації важливо не ототожнювати дію експозиції макросхилу з дією окремого фізіологічного чи кліматичного фактора.

У **третьому розділі** представлено характеристику 26 дослідних ділянок, розташованих на північному та південному макросхилах Вододільно-Верховинського хребта, які охоплюють деревостани різного віку та ступеня природності. Детально описано комплекс польових, лабораторних, лісотаксаційних і статистичних методів оцінювання запасів органічного Карбону у фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті, а також методи статистичного аналізу взаємозв'язків між карбоновими пулами та екологічними чинниками. У фізіологічному аспекті особливо важливо, що автор аналізує не окремий компонент, а послідовну систему «жива фітомаса — мертва органічна речовина — ґрунт». Такий підхід дозволяє розглядати одержані запаси Карбону як результат тривалого функціонування рослинної компоненти екосистеми.

У **четвертому розділі** наведено основні результати дослідження запасів органічного Карбону в чотирьох основних компонентах лісових екосистем — фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті, а також здійснено оцінку їхнього сумарного внеску у формування карбонового резервуару. Окремо проаналізовано ґрунтову мезофауну як біотичний чинник трансформації органічної речовини; встановлено просторову мінливість запасів Карбону, відмінності між макросхилами та зв'язок окремих пулів, передусім фітомаси й підстилки, з віком деревостанів. Важливим результатом є встановлення сильного позитивного зв'язку між запасами Карбону у фітомасі та віком деревостанів.

З фізіологічної точки зору це цілком закономірно. Збільшення віку деревостану супроводжується тривалим нагромадженням структурної біомаси,

насамперед у довговічних деревних органах. Тому старші деревостани можуть характеризуватися значно більшими запасами зв'язаного Карбону, навіть якщо інтенсивність поточного приросту з віком змінюється.

Саме тут важливо розмежовувати два показники — запас і поточну продукцію. Значний запас Карбону у старовіковому деревостані є результатом тривалого попереднього накопичення і не є прямим показником сучасної швидкості його фіксації.

У **п'ятому розділі** здійснено інтерпретацію отриманих результатів та узагальнено закономірності акумуляції органічного Карбону в досліджених лісових екосистемах. Заслуговує на увагу інтерпретація ролі вікової та структурної зрілості деревостанів. Встановлено сильний позитивний зв'язок між сумарними запасами Карбону та віком деревостанів.

Для старовікових лісів це закономірний результат, оскільки тривале існування деревостану забезпечує накопичення значних запасів структурної біомаси, а відмирання окремих її компонентів підтримує постійне надходження органічної речовини до підстилки та ґрунту.

Автор також аналізує відмінності між макросхилами. Вони зумовлені комплексом чинників, серед яких вік, породний склад, структура деревостану, рельєф, ґрунтові та мікрокліматичні умови.

З позицій фізіології важливо, що ці фактори можуть по-різному впливати на водний режим рослин, тривалість вегетаційного періоду, інтенсивність фотосинтезу і дихання. Водночас у роботі ці фізіологічні процеси безпосередньо не вимірювалися, тому їх слід розглядати як можливі механізми встановлених закономірностей, а не як експериментально доведені причини.

Корисним є також порівняння одержаних результатів із даними для інших регіонів Карпат, що дозволяє оцінити місце досліджених лісів у ширшому регіональному контексті.

У **висновках** узагальнено основні результати дослідження акумуляції органічного Карбону в лісових екосистемах Вододільно-Верховинського хребта, сформульовано встановлені закономірності його розподілу між основними компонентами екосистем та визначено вплив віку деревостанів і природно-екологічних чинників на формування карбонового пулу.

Отже, дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Результати роботи також мають належну апробацію. Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статей у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації Journal Citation Reports. Також основні положення роботи обговорювалися на 9 міжнародних, всеукраїнських і

регіональних наукових конференціях, та на наукових семінарах Інституту екології Карпат НАН України.

Основні результати, безпосередньо пов'язані з оцінюванням запасів органічного Карбону, відображено у фахових публікаціях і матеріалах наукових конференцій.

Окремі публікації присвячено запасам Карбону у лісових екосистемах, лісовій підстилці та ґрунті.

Наявність статей у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах, позитивно характеризує загальний рівень наукової підготовки здобувача та його досвід роботи в сучасному академічному середовищі. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Зауваження та дискусійні положення.

Поряд із позитивною оцінкою дисертації вважаю за необхідне висловити низку зауважень і питань, які можуть бути предметом наукової дискусії.

1. У роботі поняття «запас Карбону», «акумуляція» та «продуктивність» місцями семантично зближуються. З фізіологічної точки зору їх доцільно чіткіше розмежовувати. Запас є результатом накопичення за тривалий період, тоді як продуктивність характеризує швидкість утворення нової органічної речовини за одиницю часу.

2. У роботі показано суттєві відмінності вікової структури деревостанів між північним і південним макросхилами. Водночас значна частина найстаріших деревостанів зосереджена саме на південному макросхилі. Тому при інтерпретації відмінностей між макросхилами не завжди просто відокремити власне ефект експозиції від ефекту віку деревостану. На мою думку, у подальших дослідженнях доцільним було б застосування багатфакторного підходу, який дозволив би розділити внесок цих факторів.

3. Встановлений позитивний зв'язок запасів Карбону з віком деревостанів є переконливим, однак сам по собі не дає змоги оцінити вікову динаміку інтенсивності фотосинтезу чи чистої продукції екосистеми. Для цього необхідні прямі фізіологічні або продукційні вимірювання.

4. При поясненні відмінностей між північним і південним макросхилами автор обґрунтовано залучає температурний режим і вологозабезпечення. Водночас вплив цих факторів на фотосинтетичну активність, транспірацію та дихання рослин у межах роботи безпосередньо не досліджувався, тому такі пояснення доцільно формулювати як імовірні механізми.

5. Запас органічного Карбону у лісовій підстилці є результатом співвідношення надходження рослинного опаду та швидкості його розкладання. Тому за величиною запасу підстилки неможливо окремо оцінити інтенсивність кожного з цих процесів. Це варто чіткіше підкреслити при інтерпретації результатів.

Проте висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Лелеки Дмитра Юрійовича є самостійним завершеним дослідженням, у якому на достатньому фактичному матеріалі розглянуто закономірності акумуляції та просторового розподілу органічного Карбону в основних компонентах старовікових лісових екосистем Вододільно-Верховинського хребта.

До основних здобутків автора належить формування комплексної оцінки карбонового пулу досліджених лісових екосистем, встановлення тісного зв'язку між віком деревостану та запасами Карбону у фітомасі, характеристика внеску підстилки, грубих деревних залишків і ґрунту, а також аналіз просторової диференціації досліджуваних показників.

Робота має чітко визначену предметну спрямованість, містить нові для досліджуваного регіону фактичні дані та результати, що можуть бути використані у подальших дослідженнях функціонування лісових екосистем Українських Карпат, оцінюванні карбонових резервуарів і розробленні природоохоронних підходів.

У цілому дисертація справляє позитивне враження як завершена наукова праця з екології лісових екосистем. Висловлені зауваження мають переважно дискусійний і перспективний характер та не ставлять під сумнів основні результати і наукову цінність проведеного дослідження.

Отже вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Лелеки Дмитра Юрійовича **«Акумуляція органічного Карбону у старовікових лісах Вододільно-Верховинського хребта (Українські Карпати)»** виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для природничих наук. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, здобувач **Лелека Дмитро Юрійович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань **10 – Природничі науки** за спеціальністю **101 – Екологія**.

Рецензент:

науковий співробітник
відділу екоморфогенезу рослин
Інституту екології Карпат НАН України,
к.б.н.

Роман СОХАНЬЧАК