

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Лелеки Дмитра Юрійовича
«Акумуляція органічного Карбону у старовікових лісах Вододільно-Верховинського хребта (Українські Карпати)»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 101 Екологія
галузі знань 10 Природничі науки

В умовах глобальних змін клімату та зростання уваги до ролі лісових екосистем у регулюванні вуглецевого балансу особливого значення набувають дослідження, спрямовані на кількісне оцінювання запасів органічного Карбону у різних компонентах лісових екосистем. Ліси є одним із найбільших наземних резервуарів Карбону, а їх здатність до його акумуляції визначається не лише продуктивністю деревостанів, але й віковою та породною структурою, запасами мертвої деревини, станом лісової підстилки та ґрунтового покриву.

Особливу наукову цінність у цьому контексті мають старовікові природні ліси, де процеси формування біомаси, природного відмирання дерев, накопичення мертвої органічної речовини та її поступової трансформації відбуваються протягом тривалого часу за мінімального антропогенного втручання.

Українські Карпати характеризуються значним різноманіттям лісорослинних умов, складною орографією, різною експозицією схилів, висотною диференціацією рослинності та істотними відмінностями у віковій і породній структурі деревостанів. Це зумовлює значну просторову неоднорідність запасів органічного Карбону, яка досі недостатньо досліджена, особливо для окремих фізико-географічних районів Карпат.

У зв'язку з цим дисертаційна робота Д. Ю. Лелеки, присвячена оцінюванню запасів органічного Карбону у старовікових лісах Вододільно-Верховинського хребта, є актуальною як у теоретичному, так і в прикладному аспектах.

Загальна характеристика роботи та методичний рівень досліджень

Метою дисертаційної роботи було встановити особливості формування та просторового розподілу запасів органічного Карбону в основних компонентах

старовікових лісових екосистем Вододільно-Верховинського хребта, оцінити процеси його акумуляції та мінералізації та визначити вплив природних чинників на формування вуглецевих резервуарів цих екосистем.

Для досягнення поставленої мети автором використано комплекс польових, лабораторних, лісотаксаційних, статистичних та геоінформаційних методів.

Польові дослідження проведено на 26 дослідних ділянках, закладених у старовікових природних лісах та деревостанах, які за своїми структурними характеристиками наближаються до старовікового стану. Така кількість дослідних об'єктів дала можливість охопити значний діапазон лісорослинних умов, вікових характеристик та структурних особливостей деревостанів.

Позитивним є те, що автор не обмежився визначенням Карбону лише у живій фітомасі, а здійснив його комплексну оцінку у чотирьох основних блоках лісової екосистеми: фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті.

Саме такий підхід дає змогу отримати більш повне уявлення про загальну карбонодепонувальну функцію природних лісів і оцінити внесок окремих компонентів у формування сумарного запасу органічного Карбону.

Методи, застосовані в дисертації, загалом відповідають поставленим завданням, а отриманий фактичний матеріал є достатнім для проведених автором узагальнень

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація має логічну структуру і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі автор узагальнює сучасні відомості щодо депонування органічного Карбону лісовими екосистемами, аналізує історію розвитку досліджень цього напрямку, розглядає роль лісів у глобальному циклі Карбону та їх значення у регулюванні концентрації атмосферного CO₂.

Окрему увагу приділено дослідженням органічного Карбону в гірських екосистемах, що є важливим для подальшої інтерпретації результатів, отриманих у специфічних умовах Вододільно-Верховинського хребта.

Другий розділ містить характеристику природних умов району дослідження, зокрема його фізико-географічних, кліматичних, ґрунтових та рослинних особливостей.

Цей матеріал є необхідним, оскільки продуктивність лісових екосистем, інтенсивність формування фітомаси, накопичення мертвої деревини та швидкість трансформації органічної речовини значною мірою визначаються комплексом природних чинників.

У третьому розділі наведено характеристику дослідних ділянок та методику виконаних робіт.

З лісівничої точки зору важливою перевагою дисертації є достатньо детальна таксаційна характеристика деревостанів. Саме вік, породний склад, запас, густота й структурна організація деревостану значною мірою визначають потенційний запас Карбону у фітомасі та пов'язані з ним запаси в інших компонентах екосистеми.

Найбільший інтерес становить четвертий розділ, у якому наведено основні результати власних досліджень.

Автором встановлено значну просторову мінливість запасів органічного Карбону у фітомасі досліджених деревостанів. Середній запас становив $179,79 \pm 94,40 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, при цьому діапазон значень був дуже широким — від $33,01$ до $374,29 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Особливо показовими є відмінності між макросхилами Вододільно-Верховинського хребта. У деревостанах південного макросхили середні запаси органічного Карбону у фітомасі становили $241,78 \pm 85,44 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, тоді як на північному макросхилі — $103,97 \pm 45,60 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Такі відмінності є статистично значущими і свідчать про неоднакову структуру та історію формування досліджуваних деревостанів.

Особливої уваги заслуговує встановлений автором зв'язок між віком деревостанів та запасами Карбону. Це один із найбільш важливих результатів роботи, оскільки він кількісно підтверджує роль вікової структури природних лісів у формуванні їх карбонодепонувальної функції.

Для старовікових лісів важливим компонентом є грубі деревні залишки. Автором встановлено, що запаси Карбону в цьому блоці змінювалися від 0,86 до 85,60 т·га⁻¹, при середньому значенні $26,12 \pm 27,38$ т·га⁻¹.

Такий широкий діапазон є цілком закономірним. Наявність та кількість мертвої деревини у природних лісах визначається не лише їх віком, а й конкретною фазою розвитку деревостану, інтенсивністю природного відпаду, локальними вітровалами, буреломами та швидкістю розкладу деревини.

Саме тому відсутність статистично значущої різниці між макросхилами за запасами Карбону у грубих деревних залишках є цілком логічною і демонструє, що цей компонент має значно більш локальний та мозаїчний характер формування, ніж жива фітомаса.

У лісовій підстилці запас органічного Карбону змінювався від 2,85 до 10,59 т·га⁻¹, а середнє значення становило $6,75 \pm 1,82$ т·га⁻¹.

Цей резервуар є значно меншим за запас у фітомасі, однак має важливе функціональне значення як проміжна ланка між живою рослинністю та ґрунтовим пулом органічної речовини.

Ґрунтовий блок відрізняється значно меншою варіабельністю. Запаси органічного Карбону у ґрунті становили від 20,22 до 65,86 т·га⁻¹, у середньому $33,93 \pm 9,36$ т·га⁻¹.

На відміну від фітомаси, для ґрунтового Карбону автор не встановив статистично значущої різниці між макросхилами. Це свідчить про більшу інерційність ґрунтового резервуару та повільнішу його реакцію на зміни структури надземної частини лісової екосистеми.

Важливим підсумковим результатом роботи є оцінка сумарних запасів органічного Карбону. У досліджених екосистемах вони коливалися від 65,83 до 468,01 т·га⁻¹, при середній величині 232,36 т·га⁻¹.

Для південного макросхилу середній сумарний запас становив 303,10 т·га⁻¹, тоді як для північного — 161,43 т·га⁻¹.

Автором встановлено сильний позитивний зв'язок між сумарними запасами органічного Карбону та віком деревостанів. Це дає підстави розглядати

вік та ступінь структурної зрілості деревостанів як одні з основних факторів формування карбонового резервуару природних лісових екосистем.

Вдалим є також включення до дисертації матеріалу щодо ґрунтової мезофауни. Хоча цей блок має дещо інший характер, він розширює уявлення про біотичні механізми трансформації органічної речовини та функціонування детритного ланцюга.

У п'ятому розділі автор проводить обговорення отриманих результатів, аналізує закономірності формування запасів органічного Карбону, роль експозиції макросхилів та вікової структури деревостанів, а також порівнює одержані дані з результатами досліджень інших районів Карпат.

Позитивною рисою цього розділу є спроба автора відійти від простого порівняння абсолютних величин і пояснити причини встановлених відмінностей.

Особливо важливим є висновок про те, що виявлена різниця між макросхилами значною мірою пов'язана не лише з експозицією як такою, але й з неоднаковим віком і структурним станом деревостанів.

Це є суттєвим для коректного лісівничого трактування отриманих результатів.

Наукова новизна

Наукова новизна дисертації полягає у комплексній оцінці запасів органічного Карбону в основних компонентах старовікових лісових екосистем Вододільно-Верховинського хребта.

Уперше для цього регіону на єдиній методичній основі оцінено запаси Карбону у фітомасі, грубих деревних залишках, підстилці та ґрунті та встановлено їх внесок у формування сумарного карбонового резервуару.

Отримано нові кількісні дані щодо просторової мінливості запасів Карбону та їх зв'язку з віком і структурою деревостанів.

Важливим результатом є також встановлення різної чутливості окремих компонентів екосистеми до природних чинників. Найвиразніше просторова диференціація проявляється у фітомасі, тоді як запаси Карбону у грубих деревних залишках та ґрунті характеризуються іншими закономірностями.

Практичне значення

Практичне значення роботи полягає у можливості використання одержаних даних для оцінювання карбонодепонувальної функції лісів Українських Карпат.

Особливе значення мають результати для формування регіональних оцінок запасів Карбону, вдосконалення систем лісового моніторингу та обґрунтування природоохоронних заходів.

Старовікові природні ліси можуть використовуватися як референтні об'єкти для порівняльного оцінювання стану та карбонодепонувальної функції господарських лісів.

Отримані автором дані також можуть бути використані при обґрунтуванні підходів до ведення лісового господарства, спрямованих на підтримання довготривалого накопичення Карбону у лісових екосистемах.

Публікації та апробація результатів

За темою дисертації здобувачем наведено 14 наукових праць.

Серед них дві статті опубліковано у наукових фахових виданнях України категорії «Б», три статті — у періодичних виданнях, що індексуються в базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, а дев'ять праць засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Безпосередньо основні результати щодо запасів Карбону в лісових екосистемах Вододільно-Верховинського хребта представлено у статті Д. Ю. Лелеки, І. М. Шпаківської та І. С. Пижика «Запаси органічного карбону в лісових екосистемах Вододільно-Верховинського хребта (Українські Карпати)».

Окремий блок досліджень, пов'язаний з лісовою підстилкою, відображено у статті О. І. Леневиц та Д. Ю. Лелеки «Морфологічні особливості лісової підстилки старовікових лісів на природно-заповідних територіях Західних регіонів України».

Результати роботи також пройшли апробацію на міжнародних та всеукраїнських конференціях у 2023–2026 роках.

Тематика цих публікацій охоплює основні напрями дисертаційного дослідження: запаси органічного Карбону в старовікових лісах, окремі його

резервуари у підстилці та ґрунті, вплив рубок на ґрунтовий Карбон, оцінювання емісії CO₂ з поверхні ґрунту та роль ґрунтової біоти у трансформації органічної речовини.

Заслуговує позитивної оцінки наявність одноосібних публікацій здобувача, у яких представлені результати досліджень запасів Карбону у старовікових лісах, лісовій підстилці та ґрунті.

Загалом опубліковані праці та матеріали апробації достатньою мірою відображають основні положення виконаного дисертаційного дослідження.

Зауваження та дискусійні положення

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, вважаю за необхідне висловити такі зауваження і побажання.

1. У роботі встановлено суттєво вищі запаси органічного Карбону у фітомасі деревостанів південного макросхилу порівняно з північним. Разом з тим деревостани двох макросхилів істотно відрізняються за віковою структурою. Тому в роботі доцільно було б чіткіше розмежувати безпосередній вплив експозиції та опосередкований вплив віку деревостанів на встановлені відмінності.

2. Для оцінювання запасу Карбону у фітомасі застосовано математичні залежності, побудовані на основі лісотаксаційних характеристик. Було б доцільно докладніше обґрунтувати вибір саме цих моделей для досліджуваних деревостанів, особливо враховуючи значний діапазон їх віку та різний склад деревостанів.

3. При аналізі вікового чинника постає питання щодо визначення віку різновікових старовікових деревостанів. У роботі варто було б більш чітко зазначити, який саме показник віку використано при статистичному аналізі та наскільки він репрезентує складну вікову структуру таких насаджень.

4. Запаси грубих деревних залишків характеризуються дуже високою варіабельністю. Для повнішого лісівничого трактування отриманих результатів доцільно було б окремо показати співвідношення запасів лежачої мертвої деревини, сухостою та інших компонентів грубих деревних залишків, а також їх розподіл за стадіями розкладу.

5. У роботі ґрунтовий Карбон розглядається як відносно стабільний резервуар. Разом з тим для гірських лісів суттєвим фактором при оцінюванні запасів ґрунтового Карбону є неоднакова потужність ґрунтового профілю, скелетність та просторова мінливість об'ємної маси. На мою думку, цей аспект варто було б детальніше врахувати при оцінюванні похибки запасів Карбону у ґрунті.

6. Порівнюючи одержані результати з даними для інших регіонів Карпат, слід враховувати методичні відмінності між окремими дослідженнями, зокрема щодо складу врахованих компонентів фітомаси, глибини відбору ґрунту та способів обліку мертвої деревини. У дисертації цей аспект міг би бути висвітлений більш детально.

7. У роботі висловлено припущення щодо подальшої динаміки карбонових резервуарів за різних режимів використання лісів. Оскільки дослідження виконано переважно шляхом просторових порівнянь, а не довготривалих стаціонарних спостережень, такі положення доцільніше трактувати як ймовірні напрями змін, а не як кількісний прогноз.

8. У роботі зустрічаються стилістичні та граматичні помилки, що вимагає від дисертанта в подальшому більш уважного відношення до написання тексту.

Висловлені зауваження не ставлять під сумнів основні результати роботи, а частково мають дискусійний характер і можуть бути враховані у подальших дослідженнях автора.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Лелеки Дмитра Юрійовича «Акумуляція органічного Карбону у старовікових лісах Вододільно-Верховинського хребта (Українські Карпати)» є завершеною самостійною науковою працею, у якій на основі значного обсягу польових та лабораторних досліджень отримано нові дані щодо запасів і просторового розподілу органічного Карбону у старовікових лісових екосистемах Українських Карпат.

Робота характеризується достатнім методичним рівнем, значним обсягом власного фактичного матеріалу, комплексним підходом до оцінювання основних

карбонових резервуарів лісових екосистем та належним статистичним опрацюванням отриманих результатів.

Основні наукові положення та висновки дисертації є обґрунтованими, мають наукову новизну та практичне значення.

За актуальністю теми, обсягом і рівнем виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням одержаних результатів дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор **Лелека Дмитро Юрійович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю **101 Екологія**, галузь знань **10 Природничі науки**.

Офіційний опонент

доктор сільськогосподарських наук,
професор, чл.-кор. НААН України

Петро ЛАКИДА