



І. В. Грузінська, Т. П. Федонюк

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна,

ОЦІНЮВАННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ В ЛІСОВИХ НАСАДЖЕННЯХ УКРАЇНИ

Подано результати комплексного дослідження балансу вуглецю в лісових насадженнях України з акцентом на виявлення факторів, що впливають на процеси поглинання та викиду CO₂. На тлі глобальних кліматичних змін і посилення вимог європейської екологічної політики встановлено, що українські ліси відіграють ключову роль у збереженні кліматичної стабільності. Регіональний розподіл лісистості є нерівномірним, що зумовлює просторові диспропорції у поглинальній здатності. Виявлено, що завдяки видовому різноманіттю, структурній стійкості до біотичних загроз, адаптивності до змін клімату та високій продуктивності біомаси найбільший потенціал до поглинання CO₂ мають мішані ліси Полісся та північного Лісостепу. Досліджено вікову структуру деревостанів, встановлено, що частка середньовікових лісів становить 47,5 %, а близько 18,7 % припадає на стиглі та перестиглі, які демонструють знижену здатність до активного вуглецевого поглинання і мають підвищений ризик деградації. Установлено, що ефективність вуглецевого нагромадження зменшується після досягнення віку 80–90 років, коли біомаса сповільнює ріст, а мертва органіка спричиняє викиди. Визначено типологічну структуру лісів: хвойні породи займають 43 % площ, листяні – ще 43 %, а змішані – 14 %, до того ж останні забезпечують найвищу стабільність вуглецевого балансу. Ідентифіковано фактори, що підвищують рівень викидів парникових газів, зокрема шкідники (такі як непарний шовкопряд, сосновий шовкопряд, волохатий пильщик, а також стовбурові шкідники), пожежі, наявність мертвої деревини, деградація, буреломи, військові дії, особливості ґрунтів і кореневої системи. Акцентовано на нагальній потребі перегляду лісової політики з урахуванням просторових, вікових і типологічних особливостей лісів для адаптації до кліматичних викликів. Отримані результати мають прикладне значення для вдосконалення стратегічного планування у сфері сталого природокористування, зокрема щодо підвищення ефективності лісового менеджменту, інтеграції екосистемного підходу до адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату. Вони можуть бути використані під час розроблення та реалізації національної політики щодо виконання євроінтеграційних зобов'язань, а також за формування системи обліку викидів та поглинань парникових газів у межах Європейського зеленого курсу.

Ключові слова: вуглецевий цикл; секвестрація; лісистість; типологія лісових насаджень; ранжування природних зон за лісистістю.

Вступ / Introduction

Зміна клімату є однією з найгостріших глобальних проблем сучасності, що безпосередньо впливає на стабільність екосистем і життєдіяльність людства. Значне підвищення концентрації вуглекислого газу (CO₂) в атмосфері спричиняє підвищення середньої глобальної температури, що, водночас, зумовлює негативні екологічні явища – посуху, зниження родючості ґрунтів, збільшення частоти екстремальних погодних подій.

Одним із найефективніших природних механізмів регуляції вуглецевого циклу є лісові екосистеми, які здійснюють процес секвестрації вуглецю, поглинаючи CO₂ з атмосфери та трансформуючи його у біомасу. За даними наукових досліджень, ліси зберігають близько 45 % атмосферного вуглецю [4].

У цій предметній області знань уже здійснено низку досліджень стосовно оцінювання стану лісового фонду України, аналізу процесів секвестрації вуглецю та впливу різних факторів на вуглецевий баланс. Роль лісів у поглинанні вуглецю досліджували В. Bernal [3], G. B. Bonan [4], Р. Lakyda [15], які акцентують увагу на важливості відновлення лісів та удосконалення лісистості для підтримки екологічної рівноваги. В Україні значний внесок у аналіз здатності поглинання лісами вуглецю зробили такі науковці: Р. Д. Васишин, Ю. М. Марчук, П. І. Лакида, І. В. Букша, А. З. Швиденко, Л. М. Хоменко, Д. Г. Щепашенко та інші.

Водночас спроможність лісових насаджень до секвестрації вуглецю та фактори, які на неї впливають, не були повноцінно вивчені. Наразі немає уніфікованих підходів, що дають змогу комплексно оцінювати вугле-

Інформація про авторів:

Грузінська Ірина Василівна, аспірант, кафедра екології. Email: irynagryzinska@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-6579-316X>

Федонюк Тетяна Павлівна, д-р с.-г. наук, професор, кафедра екології. Email: tanyavasiluk2015@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6504-0893>

Цитування за ДСТУ: Грузінська І. В., Федонюк Т. П. Оцінювання факторів впливу на баланс вуглецю в лісових насадженнях України. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 4. С. 61–70.

Citation APA: Gruzinska, I. V., & Fedoniuk, T. P. (2025). Assessment of factors influencing the carbon balance in forest stands in Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 61–70. <https://doi.org/10.36930/40350407>

цевий потенціал різних типів лісів, що ускладнює ефективне управління лісовими екосистемами у контексті глобальних кліматичних змін. Ця проблема набуває особливої актуальності за умов реалізації Європейського зеленого курсу та виконання Україною своїх євроінтеграційних зобов'язань у сфері кліматичної політики, де збереження та посилення функцій лісів, як природних вуглецевих поглиначів, розглядають як один із ключових напрямів. З огляду на це постає потреба в додатковому аналізі, оцінюванні наявних та розробленні нових, науково обґрунтованих методологічних рішень, визначенні факторів впливу на посилення ролі лісів у досягненні кліматичної нейтральності та забезпеченні підходів до більш сталого природокористування.

Об'єкт дослідження – вуглецевий баланс лісових насаджень України.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення балансу вуглецю в лісових насадженнях України, що дасть змогу виявити ключові чинники його формування та сформувати науково обґрунтовану основу для подальших досліджень і кліматично орієнтованого управління лісовими ресурсами.

Мета роботи – оцінити баланс вуглецю в лісових насадженнях України у спосіб ідентифікації ключових факторів, які впливають на поглинання та викиди CO₂, що дасть змогу розробити науково обґрунтований підхід до просторового оцінювання й ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю з урахуванням потенціалу лісів як вуглецевих поглиначів.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати наукову літературу та офіційні джерела стосовно процесів секвестрації вуглецю та сучасного стану лісового фонду України, що дасть змогу сформувати науково обґрунтовану основу для подальших досліджень та оцінювання ефективності лісів як поглиначів вуглецю;
- здійснити просторове оцінювання розподілу лісистості території України за регіонами, що дасть змогу виявити регіональні особливості у формуванні лісового покриву та секвестрації вуглецю;
- використати метод ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю в Україні для зіставлення фактичної та достатньої лісистості у природних зонах України, що сприятиме визначенню пріоритетних напрямів лісорозведення та збалансованого управління лісовими ресурсами;
- здійснити ранжування природних зон України за фактичним та достатнім рівнем лісистості для виявлення регіонів із критичним дефіцитом лісового покриву, що дасть змогу визначити території, де потрібно здійснювати лісовідновлення або розширення лісових насаджень для покращення екологічного балансу та кліматичної стабільності;
- проаналізувати окремі фактори, що впливають на формування балансу вуглецю, зокрема: лісистість, вікову структуру, типи насаджень, природні й антропогенні впливи, що дасть змогу комплексно оцінити роль лісів у кліматичному регулюванні та розробити рекомендації для підвищення їхньої ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженні [25] вивчають вплив змін клімату на лісові екосистеми Західного Полісся в Україні. Автор встановив, що температурно-вологісні зміни негативно позначають на лісовій екосистемі, зокрема, це проявляється у зміні деревного складу, збільшення частоти захворювань лісів та втрати біорізноманіття лісів.

У роботі [26], що досліджує процес оцінювання лісових вуглецевих запасів, використовуючи сучасні алгоритми штучного інтелекту, автори наголошують на ролі лісів як найважливішого механізму нагромадження вуглецю. За допомогою даних дистанційного зондування та машинного навчання доведено ефективність лісових екосистем у зменшенні концентрації вуглецю в атмосфері.

У своїй праці [20] автори зазначають, наскільки важливим є ліс для забезпечення екологічної стабільності країни та боротьби з наслідками зміни клімату. Згідно з їхніми дослідженням, українські ліси можуть виступати високоефективним бар'єром для вуглецю, здатним значно підвищити рівень секвестрації за умови правильного науково обґрунтованого управління лісовим господарством.

Важливими є результати роботи [15], яка ґрунтувалась на даних інвентаризації лісів світу та довготривалих польових спостереженнях. Автори доводять, що лісові екосистеми у середньому акумулюють близько 4 Гт С на рік⁻¹, що підтверджує їх вирішальну роль у глобальному вуглецевому циклі.

У контексті України вагомим було дослідження [12], де висвітлено вплив соціально-економічних змін після розпаду СРСР на лісовідновлення. Зокрема, занепад сільськогосподарського землекористування у західних областях України сприяв природному залісненню, що створило потенціал поглинання до 150 Тг С та забезпечує щорічне поглинання близько 1,48 Тг С на рік⁻¹.

Вагомим аспектом дослідження балансу вуглецю є також аналіз вікової структури лісових насаджень. У праці [3] обґрунтовано гіпотезу про залежність інтенсивності поглинання CO₂ від віку дерев. Згідно з наведеними даними, здатність лісових екосистем до секвестрації значно змінюється у процесі старіння насаджень, що потрібно враховувати під час формування довготермінової стратегії сталого лісокористування.

Враховуючи зазначене вище, питання лісистості, вуглецевого балансу та лісовідновлення в Україні та світі активно досліджують, проте не існує комплексного підходу, який би охоплював одночасно фактори природного та антропогенного впливу на лісові екосистеми на регіональному рівні. Більшість наявних робіт зводяться до загальних оцінювань стану лісового покриву або окремих аспектів секвестрації вуглецю, без детального врахування вікової структури, типів насаджень і регіональних особливостей. Тому здійснення цього дослідження є потрібним для заповнення прогалин у науковій літературі та розроблення практичних рекомендацій для сталого управління лісовими ресурсами в Україні, що сприятиме поліпшенню вуглецевого балансу та адаптації до змін клімату.

Матеріали та методи дослідження. Проведене нами дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, що містить:

- аналіз літературних джерел – аналіз публікацій з питань вуглецевого балансу, вікової структури лісів, типів лісових насаджень та секвестрації;
- просторове оцінювання лісистості – аналіз регіонального розподілу лісів на основі статистичних і геоінформаційних даних;
- ранжування природних зон – зіставлення фактичної та достатньої лісистості регіонів для виявлення пріоритетних зон для лісовідновлення;

- моделювання балансу вуглецю – розрахунок потенціалу поглинання CO₂ залежно від віку насаджень;
- статистичне оцінювання – визначення середніх показників секвестрації для різних типів лісів;
- порівняльний аналіз – виявлення регіональних диспропорцій у лісовому покриві та вуглецевих характеристиках.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Лісовий фонд України впродовж останніх десятиліть зазнав значних коливань, спричинених як природними, так і антропогенними чинниками. Історичні події, індустріалізація, інтенсивне сільськогосподарське освоєння територій та вирубування лісів стали ключовими причинами зниження лісистості у першій половині XX століття.

Починаючи з 1946 р., лісистість України становила тільки 10,3 % від загальної площі [13]. Такий низький показник був зумовлений масштабним вирубуванням лісів, розширенням орних земель і промисловим розвитком, який переважав у післявоєнний період.

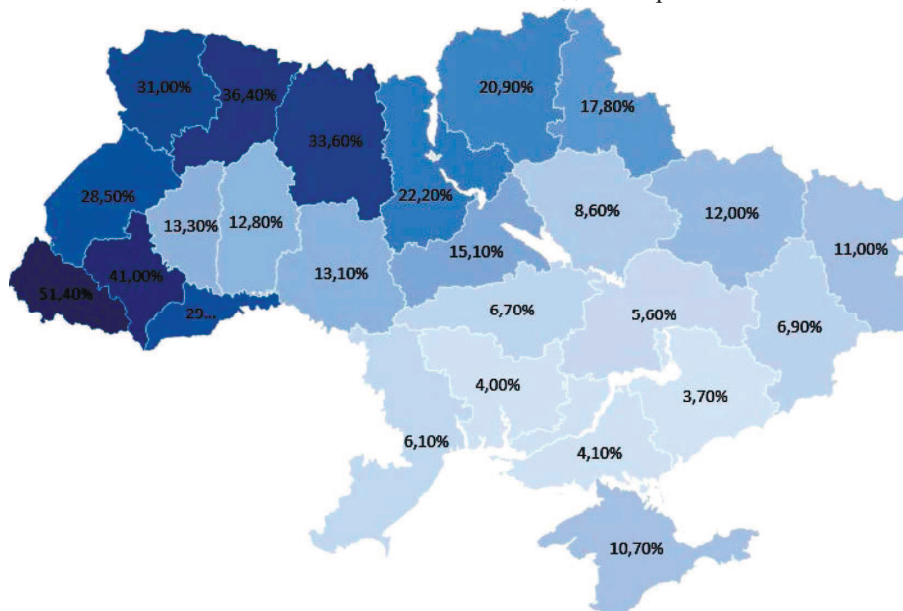


Рис. 1. Лісистість території України у розрізі адміністративно-територіальних одиниць / Forest cover in Ukraine by administrative-territorial units [21]

Аналіз рівня лісистості в адміністративно-територіальному розрізі, який ми здійснили, засвідчив, що найвищі показники характерні для регіонів, де переважають мішані лісові насадження. Зокрема, до таких територій належать Житомирська, Волинська, Рівненська, Чернігівська та Київська області.

Наукові джерела підтверджують [9, 22], що саме мішані ліси є одними з найефективніших поглиначів вуглецю. Це зумовлено сукупністю біоекологічних чинників, серед яких визначальну роль відіграє різноманітність деревних порід. Завдяки видовому багатству в таких лісах формується значний обсяг листової та деревної біомаси, що сприяє дещо інтенсивнішому поглинанню CO₂ через фотосинтетичну активність. Порівняно з однопородними насадженнями, мішані ліси мають вищий рівень загальної фітомаси, що збільшує їхній секвестраційний потенціал. Окрім цього, мішані ліси виявляють вищу стійкість до кліматичних змін, дещо ефективніше адаптуються до коливань температури та вологості, а також чинять опір біотичним загрозам – зокрема шкідникам і лісовим пожежам. Їхня структура забез-

печує баланс між швидкозростаючими та довговічними породами, що формує довготривалу здатність до нагромадження вуглецю.

Потребу стимулювання процесу формування мішаних лісових насаджень підтверджено і в дослідженні [9], де автори зазначають, що змішані насадження забезпечують значно стабільніше та ефективніше поглинання вуглецю порівняно з монокультурами. Загалом позитивна динаміка зростання рівня лісистості свідчить про поступове покращення кількісних характеристик лісових ресурсів України. Упродовж періоду з 1966 р. площа земель, вкритих лісами, збільшилась на 1,8 млн га, а загальний запас деревини зріс на 1,4 млрд м³ [22]. Ці дані підтверджують актуальність не тільки збереження наявних лісів території держави, а й активізації заходів з їхнього відновлення та розширення. Для просторового аналізу розподілу лісового фонду на підставі початкових даних Держлісагентства [21] в межах адміністративно-територіальних одиниць, автори створили тематичну карту площі лісів за регіонами України, яку подано на рис. 2.

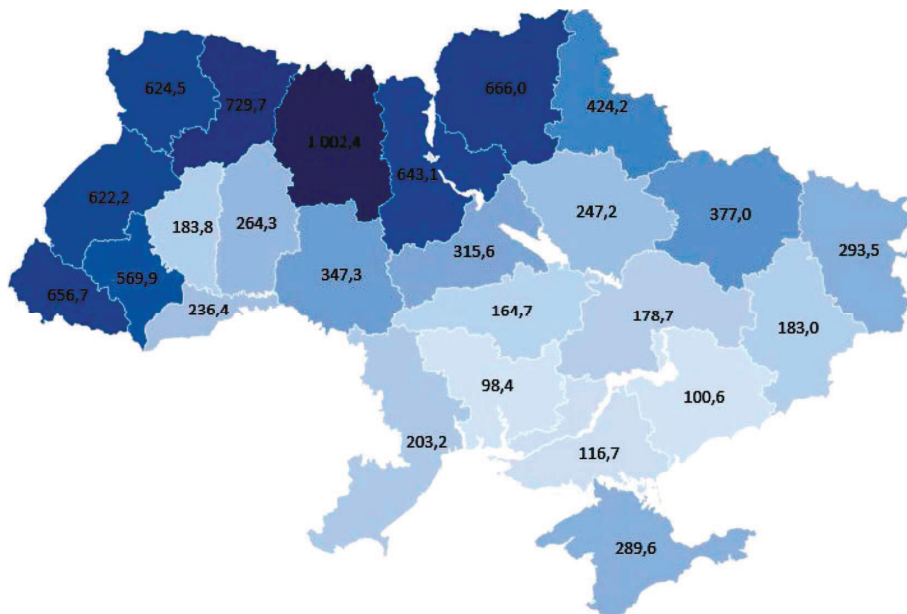


Рис. 2. Карта площі лісів України, тис. га / Map of forest area in Ukraine, thousand hectares [21]

Створена карта просторового розподілу площі лісів України є важливим аналітичним інструментом для подальшого оцінювання запасів вуглецю, а також для визначення пріоритетних територій щодо збереження та відновлення лісових насаджень. Застосування методу просторового аналізу розподілу лісового фонду дало змогу не тільки порівняти абсолютні показники заліснення, але й виокремити регіони з найвищою концентрацією лісів.

Такий підхід забезпечує комплексне розуміння потенціалу регіонів у контексті удосконалення розподілу

природних ресурсів, впровадження ефективного моніторингу стану лісових екосистем і формування передумов для раціонального управління лісовими ресурсами.

На підставі аналізу показників лісистості було встановлено, що в більшості регіонів цей рівень залишається нижчим за достатній. Згідно з даними Держлісагентства [21], достатній рівень лісистості має становити не менше 20 %. Застосовуючи співвідношення між фактичною та достатньою лісистістю в межах основних природних зон України, було розроблено діаграму, яку наведено на рис. 3.

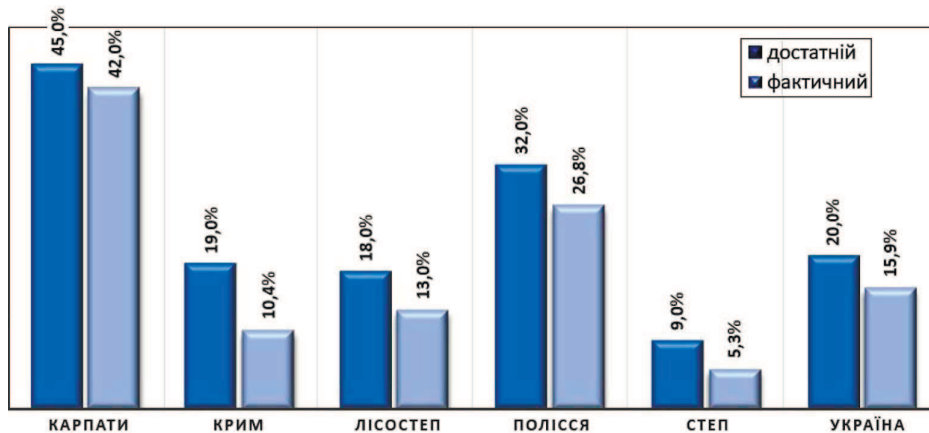


Рис. 3. Лісистість території України за природними зонами / Forest cover in Ukraine by natural zones [21]

Для здійснення процесу оцінювання рівня лісистості та подальшого аналізу балансу вуглецю було розроблено систему ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю певних територій, результати якої наведено в таблиці.

Кожна природна зона або район отримала відповідний ранг залежно від співвідношення фактичного та достатнього рівнів лісистості з урахуванням коефіцієнта розміру площ, потрібних для забезпечення сприятливого впливу на кліматичні умови, ґрунтові характеристики та запобігання ерозійним процесам. Аналіз отриманих результатів вказує на істотні диспропорції у фактичному стані лісового покриву.

Зокрема, Карпатський регіон, який історично вважають одним із найзалісненіших в Україні, відповідно до розробленої методики посідає тільки п'яте місце за фак-

тичною лісистістю, хоча за достатніми показниками мав би відповідати першому рангу з орієнтовним рівнем залісненості у 45 %. Така розбіжність свідчить про глибокий диспаритет між природним потенціалом регіону та реальним станом його лісових екосистем, що суперечить усталеним уявленням та потребує негайного перегляду пріоритетів лісовідновлювальної політики.

Оцінювання балансу вуглецю в лісових насадженнях є надзвичайно важливим, оскільки містить аналіз співвідношення між обсягами поглинання CO₂ лісами та обсягами його викидів в атмосферу. Визначення такого балансу та викидів лісами вуглецю становить основу для сталого управління лісами України.

Зважаючи на те, що баланс вуглецю є динамічним і залежить від низки природних та антропогенних чинників, важливо ідентифікувати основні фактори, які впли-

вають на рівновагу між вуглецевими поглинаннями й викидами в лісових екосистемах.

Таблиця. Ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю / Ranking of natural zones by actual and optimal forest cover

Природна зона-район	Ранг достатньої лісистості	Ранг фактичної лісистості
Полісся	2 місце за рейтингом	1 місце за рейтингом
Лісостеп	4 місце за рейтингом	2 місце за рейтингом
Крим	3 місце за рейтингом	5 місце за рейтингом
Степ	5 місце за рейтингом	3 місце за рейтингом
Карпати	1 місце за рейтингом	4 місце за рейтингом

У межах проведеного дослідження виокремлено та зображено на рис. 4 такі ключові фактори впливу:

- показник лісистості;
- вікова структура, тип лісу та поступове старіння;
- шкідники та хвороби лісових насаджень, буреломи;
- мертва деревина;
- лісові пожежі;
- ґрунт, коренева система і лісовий покрив;
- воєнні дії.

Ідентифікація та кількісне оцінювання зазначених факторів є критично важливими для прогнозування змін у вуглецевому циклі та розроблення адаптивних заходів з лісоуправління за умов зміни клімату й воєнного ризику.



Рис. 4. Фактори впливу на формування рівноваги між викидами та поглинанням CO₂ / Factors influencing the balance between emissions and CO₂ absorption

У межах нашого дослідження докладно проаналізовано такі фактори впливу, як показник лісистості, вікова структура, типи лісу та поступове старіння.

Зокрема, *показник лісистості* є одним із ключових для об'єктивного визначення поточного стану вуглецевого балансу, а також для моделювання його динаміки в середньо- та довготерміновій перспективі. Метод ранжування, який ми розробили, дає змогу не тільки кількісно оцінити фактичну й достатню лісистість у межах природних зон, а й виявити просторові диспропорції, що мають екологічне та управлінське значення.

На особливу увагу заслуговує Поліський регіон, де зафіксовано одну з найбільших невідповідностей між фактичним (26,8 %) та достатнім (32 %) рівнями заліснення. Такий дефіцит лісового покриву створює серйоз-

ні екологічні загрози: втрату біорізноманіття, порушення гідрологічного режиму (зокрема підвищення ризику паводків та пересихання природних водойм), деградацію мікроклімату, а також загальне зниження спроможності регіону до поглинання вуглецю, що, своєю чергою, сприяє посиленню парникового ефекту.

Виявлені розбіжності між достатніми і фактичними показниками лісистості підтверджують потребу перегляду наявних підходів до лісового менеджменту та реалізації цілеспрямованих заходів із відновлення лісів. Особливу увагу потрібно приділити природним зонам і районам, які мають високий потенціал лісистості. Саме ці території – передусім із домінуванням мішаних лісів – повинні стати базовими осередками формування сталого вуглецевого балансу України.

Наступний проаналізований фактор – *вікова структура*. Згідно з даними Публічного звіту, наразі у структурі лісів України переважають насадження, середній вік яких перевищує 60 років. Найбільшу частку займають середньовікові ліси – 47,5 %, що загалом є позитивним показником, оскільки саме ця вікова група демонструє найвищі темпи приросту біомаси та, відповідно, забезпечує максимальну інтенсивність поглинання вуглекислого газу.

Водночас потрібно враховувати, що загальний ефект від секвестрації CO₂ істотно знижується під впливом інших вікових груп. Зокрема, молодняки (16,9 %) ще не досягли стадії активного нагромадження біомаси, тому їхній внесок у вуглецевий баланс є відносно низьким. Пристигаючі (16,9 %) та стиглі або перестійні насадження (18,7 %), хоча й характеризуються значним запасом нагромадженої деревини, мають сповільнені темпи росту, що знижує їхню здатність до активного поглинання CO₂. Окрім цього, зрілі ліси є вразливішими до негативного впливу шкідників, хвороб та екстремальних природних явищ, що підвищує ризик масового утворення мертвої деревини й, відповідно, збільшення викидів вуглецю в атмосферу.

Отже, попри вагому частку середньовікових насаджень, загальна вікова структура лісового фонду України не є достатньою з погляду максимізації чистого поглинання вуглецю. Це зумовлює нагальну потребу реалізації активної лісогосподарської політики, спрямованої на омолодження лісів, підвищення їхньої стійкості та впровадження комплексних заходів з ефективного управління вуглецевим балансом. Вікову структуру лісів України на основі даних Держлісагентства [21] відображено на рис. 5.



Рис. 5. Вікова структура лісів України / Age structure of forests in Ukraine [21]

Потрібно зауважити, що наразі в Україні на нормативному рівні не визначено чіткої вікової структури та категоризації лісів. Відповідно до статті 42 Лісового кодексу України, вік стиглості деревостанів встановлюють з урахуванням цільового призначення лісів, функцій, які вони виконують, їх продуктивності, біологічних особливостей деревних порід, лісорослинних умов, природних зон, а також способів відновлення лісу.

Остаточне визначення віку стиглості здійснюють під час проведення лісовпорядкування на основі результатів спеціальних наукових досліджень. Ці параметри затверджуються центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері лісового господарства, за погодженням із відповідним органом, який відповідає за реалізацію державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища.

На жаль, вік стиглості деревостанів для окремих типів лісів в Україні досі не унормовано, а чинні нормативні документи, що регулюють ці питання, є застарілими й не відповідають актуальним вимогам сталого лісоуправління та екологічного моніторингу.

Наразі офіційно затверджено тільки "Методику визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів", наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 18 травня 2018 р. № 161, яка встановлює критерії належності на основі походження та складу деревостанів, ступеня антропогенного впливу, площі й конфігурації лісових ділянок [14].

Відсутність чіткої нормативної бази унеможлиблює створення та ведення повноцінного обліку балансу вуглецю в лісах України на державному рівні. Це істотно обмежує потенціал для впровадження системного підходу до лісовпорядкування і формування ефективної кліматичної політики. Зокрема, одним з базових методів лісовпорядкування в Україні залишається метод класів віку, що передбачає групування виділів у господарства та господарські секції відповідно до Порядку здійснення лісовпорядкування, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2023 р. № 112 [5].

Особливо важливим є врахування вікової структури лісів під час оцінювання їхньої екологічної ефективності як поглиначів вуглецю. Після досягнення лісом віку

80-90 років здатність до поглинання CO_2 поступово зменшується, і дерева починають вивільняти більше вуглецю, ніж поглинають. З огляду на це постає потреба планового лісовідновлення для забезпечення безперервного циклу секвестрації вуглецю. Цю тенденцію підтверджує й дослідження [3], згідно з яким інтенсивність поглинання CO_2 знижується зі зростанням віку насаджень, особливо після досягнення стадії стиглості.

На початкових етапах росту (вік 1-20 років) поглинання є відносно низьким через ще недостатньо розвинену біомасу. Найвищі темпи секвестрації спостерігають у фазі активного росту – у середньовікових насадженнях віком 20-50 років (залежно від порід і кліматичних умов). Саме в цей період ліс інтенсивно акумулює біомасу, що забезпечує високі щорічні прирости вуглецю. Цю позицію частково підтверджують і результати дослідження, проведеного Європейським космічним агентством [7]. Згідно з отриманими даними, найвищі темпи поглинання CO_2 спостерігають у дерев віком до 30 років. Після цього вікового порогу швидкість секвестрації різко знижується і стає незначною у лісах, вік яких перевищує 100 років.

У зрілих і старовікових лісах темпи поглинання вуглецю поступово зменшуються. Із досягненням стадії біологічної зрілості ріст дерев сповільнюється, що знижує здатність лісових насаджень накопичувати біомасу. Попри те, що старовікові ліси продовжують акумулювати CO_2 , інтенсивність цього процесу є істотно нижчою. Окрім цього, у старих насадженнях частіше відбувається відмирання дерев, що призводить до утворення мертвої органічної маси. У процесі її розкладання в атмосферу вивільняється вуглекислий газ, що може частково або повністю нівелювати ефект секвестрації.

Отже, поступове старіння лісів є важливим фактором, що негативно впливає на баланс вуглецю. Проте для об'єктивного оцінювання цього впливу потрібно враховувати також викиди, спричинені спалюванням, деградацією біомаси та розкладанням мертвої деревини.

У межах нашого дослідження було проведено розрахунки з урахуванням цих чинників на основі даних дослідження [3]. Узагальнені результати розрахунків подано на рис. 6.

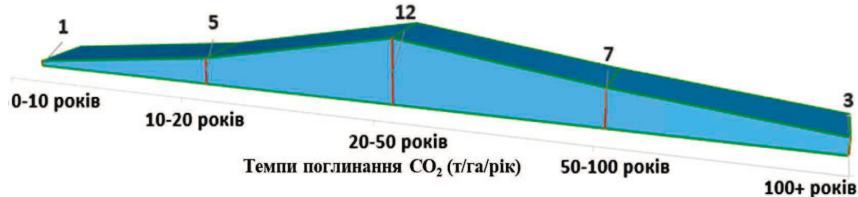


Рис. 6. Середні темпи поглинання CO_2 лісами за віком (т/га/рік) / Average CO_2 absorption rates of forests by age (t/ha/year)

Зазначені показники було розраховано з урахуванням 95 %-го довірчого інтервалу (CI95) для кожної кліматичної зони, що підвищує достовірність і статистичну надійність результатів. Це, водночас, забезпечує їхню придатність для подальшого використання в екологічному моделюванні, прогнозуванні змін вуглецевого балансу та оцінюванні ефективності лісовідновлювальних заходів.

У контексті аналізу вікової структури лісового фонду України надзвичайно важливо враховувати фактор поступового старіння насаджень. Цей чинник безпосередньо впливає на інтенсивність поглинання вуглецю та потребує системного врахування в управлінських рішеннях щодо сталого лісокористування.

Отже, на підставі здійсненого аналізу, а також узагальнення даних з інших наукових джерел, можна зробити висновок, що зі збільшенням віку дерев здатність лісів до активного поглинання CO_2 істотно знижується.

Тип лісу є ще одним вагомим фактором, що впливає на формування вуглецевого балансу лісових екосистем, оскільки безпосередньо визначає здатність насаджень поглинати та утримувати вуглець. Видовий склад деревостанів – зокрема, переважання хвойних, листяних або змішаних порід – зумовлює темпи росту дерев, тривалість їхнього життя, обсяг накопичення біомаси, а також швидкість розкладу органічної речовини.

Хвойні ліси, зазвичай, характеризуються вищим накопиченням вуглецю в деревині завдяки щільнішій

структурі деревини та тривалішому життєвому циклу дерев. Водночас обіг органічних речовин у ґрунті в таких лісах відбувається повільніше. Листяні насадження, навпаки, мають швидший колообіг речовин, але зазвичай характеризуються нижчою щільністю деревини та коротшою тривалістю життя дерев, що зменшує їхній загальний вуглецевий запас.

Змішані ліси поєднують переваги обох типів, забезпечуючи як високу різноманітність, так і збалансовану продуктивність. Завдяки цьому вони здатні підтримувати більш стабільний вуглецевий баланс та демонструють кращу адаптивність до змін кліматичних умов і біотичних впливів. Отже, стимулювання розвитку змішаних лісових насаджень може стати ефективною стратегією у контексті посилення поглинальної здатності лісів та пом'якшення наслідків змін клімату.

Результати проведеного дослідження підтверджують важливість комплексного врахування різноманітних факторів, що впливають на формування та оцінювання балансу вуглецю в Україні. Це питання набуває особливого значення в контексті євроінтеграційних процесів, зокрема у зв'язку з вимогами Регламенту (ЄС) 2018/841, який зобов'язує країни-члени Європейського Союзу впроваджувати національні системи обліку у сфері лісового господарства з урахуванням викидів та поглинань вуглецю, що виникають унаслідок господарської діяльності на лісових угіддях [8].

Обговорення результатів дослідження. У контексті глобальних кліматичних змін вивчення динаміки вуглецевого балансу в лісових екосистемах набуває особливої актуальності. Як засвідчили результати нашого дослідження, ключовими факторами, що визначають рівень поглинання та вивільнення CO_2 в українських лісах, є типологічна структура, віковий склад деревостанів, рівень лісистості, пожежі та шкідники. Просторовий підхід до оцінювання дав змогу виявити істотну нерівномірність у здатності різних природних зон до секвестрації вуглецю.

Встановлення реального балансу вуглецю в українських лісах є ключовою передумовою не тільки для виконання міжнародних кліматичних зобов'язань, але й для ефективного й сталого управління природними ресурсами. Як показує дослідження [2], відновлення лісових екосистем може мати значний вплив на вуглецевий баланс, а також виступати важливим кроком у досягненні глобальних кліматичних цілей. Тому лісове відновлення може стати важливим інструментом у боротьбі з кліматичними змінами, підвищуючи здатність лісів поглинати вуглець.

Збільшення площі лісорозведення (на 50 % за останні два десятиліття тільки у Житомирській області) є показовим прикладом потенціалу для посилення ролі лісів як поглиначів вуглецю [16]. На нашу думку, це свідчить про потребу перегляду сучасних підходів до лісового менеджменту з урахуванням вуглецевого чинника, адже такий підхід може істотно вплинути на формування позитивного вуглецевого балансу як на регіональному, так і національному рівнях.

У ході дослідження було виявлено наявний потенціал України щодо підвищення здатності лісових екосистем до поглинання парникових газів шляхом цілеспрямованого оновлення вікової структури лісів, розвитку змішаних насаджень та розширення площ молодих лісів. Українські ліси мають значний потенціал як вугле-

цеві поглиначі, з нагромадженим загальним вмістом вуглецю понад 766 млн т CO_2 . Активні лісгосподарські заходи сприяють підвищенню обсягів депонування вуглецю на лісових площах України [11].

У дослідженні [19], проведеному на основі 9610 кернів приросту дерев із 400 ділянок у Карпатських горах, проаналізовано закономірності нагромадження вуглецю в біомасі у різновікових лісах упродовж понад 250 років. Результати свідчать, що з віком у насаджень відбувається поступове нарощування запасів вуглецю у живій і мертвій деревині. Встановлено, що темпи нагромадження вуглецю залишаються стабільними на різних етапах розвитку насаджень, а загальна ємність лісових екосистем щодо збереження вуглецю зростає впродовж тривалого періоду. Це доводить значення вікової структури лісу як фактора, що впливає на довготривалу динаміку вуглецевого балансу.

На нашу думку, окремою складовою частиною національного плану обліку лісового господарства має бути моделювання й аналіз різних сценаріїв державної політики, зокрема оцінювання того, як змінюватимуться показники викидів та поглинання вуглецю залежно від рівня господарського навантаження на ліси та частки біомаси, що використовують в енергетичних чи інших секторах економіки.

Цю думку підтримано у дослідженні [1], де констатовано важливість системного підходу до досягнення вуглецевої нейтральності. Автор наголошує, що для ефективного зниження викидів потрібно не тільки зосереджуватись на скороченні самих викидів, а й посилювати міжсекторальну кліматичну відповідальність, яка є невід'ємною частиною державної політики. Це означає, що політичні та технологічні стратегії повинні бути інтегровані на всіх рівнях управління для досягнення спільних кліматичних цілей і забезпечення ефективного вирішення проблеми вуглецевих викидів та зміни клімату.

У роботі [24] багатоцільову модель управління лісами запропоновано для оптимізації процесів секвестрації вуглецю з урахуванням типів лісу, кліматичних зон і екологічних особливостей. Застосування моделі дає змогу розраховувати оптимальні обсяги поглинання CO_2 та періоди ротації для різних умов, що робить її перспективною для адаптивного лісоуправління.

Також автори [16] вказують на те, що для досягнення збалансованого управління лісовими ресурсами потрібно впроваджувати інтегрований підхід, що враховує екологічні, економічні, соціальні та технологічні чинники, а також практикувати розширення площі лісів, зокрема за рахунок деградованих земель, непридатних для сільського господарства.

Оцінювання вуглецевого балансу відіграє ключову роль у розумінні глобальних кліматичних процесів. Це вказано, зокрема, у праці [10], де наголошують на важливості щорічного складання глобального вуглецевого бюджету як інструмента моніторингу динаміки викидів CO_2 , їх поглинання та загального зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері. Автор наголошує, що точне розуміння балансу між джерелами та поглиначами вуглецю є критично важливим для розроблення ефективної кліматичної політики.

За даними [17], зміни у структурі деревостанів унаслідок лісгосподарських заходів та тип лісу істотно впливають на динаміку вуглецевого обміну. Встановле-

но, що швидкість нагромадження вуглецю у ґрунті вища у хвойних лісах порівняно з мішаними, однак цей показник зменшується зі зростанням інтенсивності проріджування та тривалістю відновного періоду.

У дослідженні [18] проаналізовано тридцятирічну динаміку змін лісового покриву та пов'язані з нею коливання обсягів поглинання та викидів вуглецю на основі супутникових даних і ГІС-технологій. Автори показали, що зменшення площі лісів призводить до істотних щорічних втрат нагромадженого вуглецю, тоді як збільшення лісистості через заліснення сприяє поступовому відновленню здатності екосистем до секвестрації CO₂. Отримані результати підтверджують ефективність довготривалого моніторингу для кількісного оцінювання вуглецевого балансу та формування практичних заходів із пом'якшення кліматичних змін.

Істотним фактором, що впливає на вуглецевий баланс лісових екосистем, є природні порушення, зокрема пожежі. Вплив пожеж на нагромадження та втрати вуглецю детально аналізують у низці сучасних наукових досліджень. Так, у дослідженні [6] встановлено, що вплив лісових пожеж на запаси органічного вуглецю у ґрунті значно залежить від типу екосистеми, глибини ґрунту, широти, а також видів дерев і типу пожежі. Особливо відзначено чутливість хвойних порід до змін у вуглеводному балансі після пожеж. Також наголошено, що різні типи пожеж і шари ґрунту по-різному впливають на ключові показники ґрунтового вуглецю, зокрема пірогенний вуглець, органічну речовину та мікробну біомасу.

Окрім пожеж, у роботі [11] розглядають й інші чинники, що істотно впливають на вуглецевий баланс лісових екосистем, зокрема кліматичні зміни. Зміна клімату та пов'язані з нею явища – тривалі посухи, аномально теплі зими – спричиняють погіршення стану лісів, впливають на активність шкідників і, як наслідок, знижують здатність екосистем до поглинання вуглецю. Також у цьому дослідженні запропоновано інтегровану систему для прогнозування секвестрації вуглецю та підтримки рішень з управління лісовими рубками. Дослідження використовує аналіз головних компонентів для оптимізації даних, а потім розробляє нейронну мережу зворотного поширення для прогнозування поглинання вуглецю та розроблення планів секвестрації CO₂. Щоб врахувати розбіжності між екологічними та соціально-екологічними цілями, автори проводять перевірку відхилення плану від реальних умов. Прогнозування майбутніх втрат лісових насаджень здійснюють за допомогою моделі довготермінової короткочасної пам'яті (LSTM), яка навчається на історичних даних.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено методику оцінювання потенціалу лісових екосистем як вуглецевих поглиначів і вивільнювачів вуглецю, яка, на відміну від наявної, враховує застосування методу ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю, що забезпечує комплексне відображення просторових диспропорцій у вуглецевому балансі, підвищує обґрунтованість екологічного прогнозування, забезпечує більшу точність результатів оцінювання та дає змогу здійснювати кількісне обчислення балансу CO₂ на рівні природних зон.

Практична значущість результатів дослідження – запропоновану методику оцінювання потенціалу лісових екосистем як вуглецевих поглиначів і вивільнювачів вуглецю можна використати як інструмент для оцінювання ефективності управління лісовими ресурсами, для розроблення стратегій кліматично орієнтованого лісокористування та обґрунтування природоохоронних заходів як на національному, так і регіональному рівнях.

Висновки / Conclusions

Проведено оцінювання балансу вуглецю в лісових насадженнях України шляхом ідентифікації ключових факторів, які впливають на поглинання та викиди CO₂, що дало змогу розробити науково обґрунтований підхід до просторового оцінювання й ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю з урахуванням потенціалу лісів як вуглецевих поглиначів. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Систематизовано динаміку змін лісистості України та площі лісового фонду за останні десятиліття на основі статистичних звітів і даних Державного лісового кадастру та звітів Державного агентства лісових ресурсів України. Результати дали змогу виявити тенденції у змінах лісового покриву, що є базою для оцінювання вуглецевого балансу та подальшого прогнозування.
2. Виявлено високий потенціал мішаних лісів, характерних для Полісся та північного Лісостепу, до поглинання CO₂. Цей висновок ґрунтується на аналізі наукових праць та власних розрахунках біомаси приросту, що дало змогу підтвердити їхню підвищену стійкість до стресових факторів завдяки видовому різноманіттю та збалансованому нарощенню біомаси. Такий вплив підтверджує важливість збереження та розширення лісів такого типу для посилення секвестрації вуглецю.
3. Розроблено й подано карту просторового оцінювання площі лісів України та здійснено ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю, що дало змогу ідентифікувати регіони з критичним дефіцитом лісистості (зокрема Карпатський регіон) та визначити пріоритетні території для здійснення лісовідновлювальних заходів.
4. Встановлено істотний розрив між фактичною та достатньою лісистістю на підставі порівняльного аналізу поточних показників з науково обґрунтованими рекомендованими рівнями, що в середньому для України становить 15,9 % за рекомендованого рівня не менше 20 %. Для досягнення екологічно збалансованого стану потрібне розширення лісового покриву щонайменше на 2,4 млн га, що забезпечить підвищення поглинальної здатності лісових насаджень.
5. Проаналізовано вікову структуру лісів України на основі матеріалів Державного агентства лісових ресурсів України та встановлено домінування насаджень віком понад 60 років, зокрема частка стиглих і перестиглих лісів становить 18,7 %. Це знижує ефективність секвестрації вуглецю та потребу системних заходів з омолодження лісів. Особливу увагу приділено тому, що після досягнення віку 80–90 років ліси перетворюються з поглиначів на джерела вуглецю через деградаційні процеси та розкладання мертвої деревини. Це обґрунтовує нагальну потребу застосування системних заходів омолодження лісового фонду для оптимізації його секвестаційних та ґрунтозахисних функцій.
6. Ідентифіковано ключові фактори впливу на баланс CO₂, шляхом системного аналізу літературних джерел емпіричних даних та результатів власних розрахунків. До цих факторів належать: показник лісистості, вікова структура, тип лісу, старіння деревостанів, ураження

шкідниками та хворобами, буреломи, наявність мертвої деревини, лісові пожежі, характеристики ґрунтів і кореневої системи, лісовий покрив, а також вплив воєнних дій. Систематизація ідентифікованих факторів забезпечує основу для розроблення ефективної стратегії адаптації лісів до кліматичних змін та ефективного управління.

7. Розроблено метод ранжування природних зон за фактичною та достатньою лісистістю, що дає змогу порівнювати фактичну та достатню лісистість за допомогою присвоєння відповідних рангів. Запропонований інструмент можна використати для стратегічного планування сталого управління лісами з урахуванням кліматичних викликів і дає змогу комплексно оцінити обсяги лісового покриття в Україні.

References

1. Bach, V. (2023). Life cycle assessment in the context of decarbonization and carbon neutrality. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, 741–745. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02190-w>
2. Bastin, J.-F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M., & Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76–79. <https://doi.org/10.1126/Science.aax0848>
3. Bernal, B., Murray, L. T., & Pearson, T. R. H. (2018). Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. *Carbon Balance and Management*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0110-8>
4. Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/Science.1155121>
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). On the approval of the Procedure for forest management: Resolution № 112. (2025). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/112-2023-p#Text>
6. Cheng, Y., Luo, P., Yang, H., Li, H., Luo, C., Jia, H., & Huang, Y. (2023). Fire effects on soil carbon cycling pools in forest ecosystems: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 165001. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165001>
7. European Space Agency. (2023, Oktober). Younger trees champion carbon capture. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/SMOS/Younger_trees_champion_carbon_capture
8. European Union. (2018). Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework: Consolidated version of 11 May 2023. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018R0841-20230511>
9. Feshchenko, R., & Bilous, A. (2022). Structure of sequestered carbon in the biomass of forest stands in the garden art park-monument of national significance "Feofania". *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 13(2), 123–131. [https://doi.org/10.31548/forest.13\(2\).2022.58-66](https://doi.org/10.31548/forest.13(2).2022.58-66)
10. Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., & Zaehle, S. (2020). Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269–3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
11. Gu, S., Zhao, W., & Qin, X. (2022). Evaluation & decision models for forest management. In *ICCBN 2022: 2022 10th international conference on communications and broadband networking* (pp. 66–70). ACM. <https://doi.org/10.1145/3538806.3538814>
12. Kuemmerle, T., Olofsson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C. E., Houghton, R. A., Hostert, P., Keeton, W. S., & Radeloff, V. C. (2010). Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335–1349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x>
13. Makarenko, S. S. (2018). Assessment of forestry activity of Ukraine in the context of time requirements. *Economy and Society*, 19. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-72>
14. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2018). On the approval of the Methodology for determining the classification of forest areas as primeval forests, quasi-primeval forests, and natural forests: Order № 161. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0707-18#Text>
15. Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/Science.1201609>
16. Patseva, I. H., Barabash, O. V., Melnyk-Shamrai, V. V., Shamrai, V. I., & Patsev, I. S. (2023). Analysis of the current state of forest resources in the context of sustainable development. *Collection of Scientific Publications NUS*, 493(4), 205–211. [https://doi.org/10.15589/znp2023.4\(493\).27](https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).27)
17. Qu, Q., Xu, H., Xu, L., You, C., Tan, B., Li, H., Zhang, L., Wang, L., Liu, S., Xu, Z., Xue, S., & Wang, M. (2025). Forest thinning effects on soil carbon stocks and dynamics: Perspective of soil organic carbon sequestration rates. *Catena*, 250, article ID 108759. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108759>
18. Raza, A., Syed, N. R., Fahmeed, R., Acharki, S., Hussain, S., Zubair, M., Vishwakarma, D. K., Gaur, A., Singh, B. P., Okasha, A. M., Dewidar, A. Z., & Mattar, M. A. (2025). A remote sensing and gis-based analysis of forest cover changes and carbon sequestration trends over three decades. *Environmental Development*, article ID 101232. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101232>
19. Seedre, M., Janda, P., Trotsiuk, V., Hedwall, P.-O., Morrissey, R. C., Mikoláš, M., Bače, R., Čada, V., & Svoboda, M. (2020). Biomass carbon accumulation patterns throughout stand development in primary uneven-aged forest driven by mixed-severity natural disturbances. *Forest Ecology and Management*, 455, article ID 117676. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117676>
20. Shvidenko, A., Lakyda, P., Schepaschenko, D., Vasylyshyn, R., & Marchuk, Y. (2013). Carbon, climate, and land-use in Ukraine: Forest sector. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 285 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/262376344_Vuglec_klimat_ta_zemleupravlin-na_v_Ukraini_lisovij_sektor_Carbon_climate_and_land-use_in_Ukraine_Forest_sector
21. State Forest Resources Agency of Ukraine. (2024). Public report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2024, 65. URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/uploaded-files/%20zvut%20za%202024%20rik.pdf>
22. State Forest Resources Agency of Ukraine. (n.d.). From the history of forestry in Ukraine. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/z-istoriyi-lisovogo-gospodarstva-ukrayini>
23. Tkach, V. P., Vysotska, N. Yu., Torosov, A. S., Buksha, I. F., Pasternak, V. P., Los, S. A., Kobets, O. V., Tamopilska, O. M., Tarnopilskyi, P. B., Kalashnikov, A. O., Zhezkun, I. M., Koval, I. M., Sydorenko, S. H., Sydorenko, S. V., Bondarenko, V. V., Bondar, O. B. (2023). Economic evaluation of ecosystem services of Ukrainian forests. Ukrainian Research Institute of Forestry and Forestry Melioration named after G. M. Vysotsky, 28. <https://doi.org/10.33220/2023.978-617-8195-57-1>
24. Xu, Z., Lin, D., & Yu, Q. (2025). Multi-objective forest carbon sequestration management model. In *BDICN 2025: 2025 4th international conference on big data, information and computer network* (pp. 162–168). ACM. <https://doi.org/10.1145/3727353.3727380>
25. Yanitskyi, V. (2024). Impact of climate change on forest ecosystems in Western Polissia. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 15(1), 100–110. <https://doi.org/10.69628/esbur.1.2024.100>
26. Yu, Z., & Wang, J. (2025, February). A method for estimating forest carbon storage distribution density via artificial intelligence generated content model. arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.00783>

ASSESSMENT OF FACTORS INFLUENCING THE CARBON BALANCE IN FOREST STANDS IN UKRAINE

This article presents the results of a comprehensive study on the carbon balance of forest stands in Ukraine, with a focus on identifying the key factors influencing carbon dioxide (CO₂) absorption and emission processes. Against the backdrop of global climate change and the increasing demands of European environmental policy, it was established that Ukrainian forests play a crucial role in maintaining climate stability. The regional distribution of forest cover is uneven, resulting in spatial disparities in carbon sequestration capacity. It was found that due to species diversity, structural resilience to biotic threats, adaptability to climate change, and high biomass productivity, the mixed forests of Polissya and northern Forest-Steppe zones demonstrate the highest potential for CO₂ absorption. The age structure of forest stands was examined, revealing that middle-aged forests constitute 47.5 % of the total area, while approximately 18.7 % are mature and overmature stands that exhibit reduced carbon uptake and an increased risk of degradation. The study confirmed that carbon accumulation efficiency declines after the age of 80–90 years, when biomass growth slows and dead organic matter contributes to carbon emissions. The typological structure of forests was defined as follows: coniferous species account for 43 % of the area, deciduous – another 43 %, and mixed forests – 14 %, respectively. The latter were found to provide the most stable carbon balance. Several emission-enhancing factors were identified, including pests (such as the gypsy moth, pine sawfly, and stem borers), wildfires, deadwood presence, degradation, windthrows, military activity, and soil and root system characteristics. Therefore, the study emphasises the need to revise forest policy with consideration of spatial, age-related, and typological characteristics of forests in order to adapt to climate challenges. The results obtained in the course of the study have practical significance for improving strategic planning in sustainable natural resource management, enhancing forest management efficiency, and integrating ecosystem-based approaches for climate change adaptation and mitigation. They may also inform the development and implementation of national policies to meet EU integration commitments and to establish carbon accounting systems within the framework of the European Green Deal.

Keywords: carbon cycle; sequestration; forest cover; classification of forest stands; zonation by forest cover.