



УДК 630*11

Кліматоформуєча роль продукційного процесу лісів України

П. Р. Третяк¹, Н. Г. Лук'янчук², Г. Т. Криницький³

Ліси України щорічно можуть депонувати понад 22 млн т вуглецю, продукувати понад 60 млн т кисню, транспірувати 36272 млн т водяної пари, споживаючи при цьому 24 млн ГВт·год енергії. Цей матеріально-енергетичний баланс життєдіяльності лісів України є у 4 рази меншим, ніж лісів Німеччини і у 1,3 рази меншим, ніж лісів Польщі. Відповідні пропорції властиві також для здатності лісової рослинності охолоджувати повітряний басейн. В Україні цей показник становить 2,48°C в межах вкритих лісом земель. У межах всієї території України таке охолодження може становити 0,39°C, що є удвічі більшим показником, ніж відповідне значення для всієї території Центральної та Східної Європи.

Частка такого продукційного процесу лісів у межах Волинської, Рівненської та Житомирської областей Поліського регіону може становити 24% відповідних показників в Україні загалом, а лісів у межах Львівської, Тернопільської, Хмельницької, Івано-Франківської та Чернівецької областей, що у Лісостеповій зоні, може становити 23%. В межах обраних модельних областей України потенціал продуктивності та показники матеріально-енергетичного балансу лісів можуть бути рівним або у 2-3 рази більшими, ніж у лісах України, а також від двох до шести разів більшим, ніж у лісах Центральної та Східної Європи загалом. Цей аспект має важливе локальне кліматоформуєче значення, оскільки призводить до збагачення повітря киснем і водяною парою та його охолодження.

Для підвищення матеріально-енергетичних показників життєдіяльності лісової рослинності потрібно зосередити увагу на необхідності збільшення площі лісів та їх продуктивності. Бажано вирощувати деревостани, що відзначаються високими показниками щорічного приросту стовбурової деревини. Цього можна досягнути збільшенням представництва у лісостанах швидкорослих деревних видів, що призведе до збільшення питомих сум площ перерізу стовбурів дерев та загальних запасів деревостанів, а також показників їхнього щорічного приросту.

Ключові слова: кисень; вологість повітря; транспірація; продуктивність; оздоровчий ефект.

Вступ (Introduction). В умовах сучасності особливого соціально-економічного та екологічного значення набули зміни клімату (Falkenbach, 2001; Nwoke, B., Nwoke, E., & Ukpa, 2009; Barata et al., 2011; Absalon, & Slesak, 2012). Це, насам-

перед, його потепління, екстремуми температур та вологості повітря. Від цих чинників залежить можливість адаптації біоти до зміненого середовища (Shamdasani et al., 2021; Balbus et al., 2016). Особливого значення набувають природні еколо-

¹ Третяк Платон Романович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор, завідувач відділу регіонального біоценологічного моніторингу. Державний природознавчий музей НАН України, вул. Театральна, 18, Львів, 79000, Україна. Тел.: +38-032-235-69-17. E-mail: platon.tretyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-060X>

² Лук'янчук Неля Георгіївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-983-77-73. E-mail: Lukyanchuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2354-2446>

³ Криницький Григорій Томкович – академік Лісівничої академії наук України, Президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

гічні ризики: надмірні спеки, сухість, вологість повітря та його забруднення (Guarnieri et al., 2023; Nienaber et al., 2021; Arundel et al., 1986).

Починаючи з 1980-х років, температура повітря в Європі зросла на $1,2^{\circ}\text{C}$, що є найвищим показником серед континентів світу (Atwoli et al., 2021; Europe Warming..., 2023). Окрім того, кліматичний водний баланс у Центральній та Східній Європі вже впродовж останніх десятиліть є від'ємним і становить від -30 до -120 мм на рік, тоді як сума опадів становить від 500 до 800 мм. Встановлено, що евапотранспірація листяних лісів помірного поясу Центральної та Східної Європи може перевищувати річну кількість опадів. Зокрема багаторічні дослідження, проведені у Великопольському воєводстві на прикладі сосново-дубового лісу, засвідчили негативний водний баланс: річна кількість опадів становила від 347 мм до 535 мм, а випаровуваність – від 616 мм до 723 мм на рік (Liberacki et al., 2008; Ziernicka-Wojtaszek, 2015). Це зумовлює значні біогеографічні зміни лісових ландшафтів: проникнення посухостійких видів рослин до складу корінних фітоценозів та випадання бореальних вологолюбних видів з їх складу. Високий рівень евапотранспірації у лісових екосистемах призводить також до локального додаткового охолодження повітря. Окрім евапотранспірації, ліси засвоюють велику кількість діоксиду вуглецю та продукують значні обсяги кисню унаслідок фотосинтезу (Meletis, & Kimberly, 2019; Третьак, Черневий, 2020). Кисень, як відомо, є життєво важливим для киснеespoживаючих організмів (тварин) та має критичне значення для життєдіяльності людства.

Таким чином, лісова рослинність відіграє значну кліматорегулюючу, кисне- та вологопродукуючу функцію у лісових і лісостепових ландшафтах Центральної та Східної Європи. Зокрема, виявлено значну різницю у цих показниках у межах Німеччини, Польщі та України (Tretyak, Lukianchuk, & Krynytskyu, 2024). Безумовно, що така локальна кліматоформуюча здатність лісів істотно залежить і від їхньої площі та продуктивності у межах адміністративних областей України, а також від їх вікової структури. Тому *мета роботи* полягала у встановленні сумарних величин киснепродукційного процесу та евапотранспірації лісовою рослинністю Лісостепової та Лісової зони західного регіону України.

Об'єкти та методика дослідження (Objekts and metods). *Об'єкт досліджень* – кліматоформуюча роль лісів Полісся та Лісостепової зони. *Предмет досліджень* – обсяги депонованого вуглецю, продукування кисню, транспірованої водяної пари, спожитої теплової енергії у модельних областях досліджуваного регіону.

Процес споживання рослинним вкриттям сонячної і теплової енергії та діоксиду вуглецю внаслідок процесу фотосинтезу призводить до продукування кисню. Супутнім але обов'язковим процесом під час фотосинтезу є транспірація водяної пари. Випа-

ровування, своєю чергою, потребує затрат теплової енергії, яка споживається з навколишнього середовища, що забезпечує його охолодження.

Загальна теоретична концепція стосовно чинників матеріально-енергетичного впливу продуктивності рослинного покриву базується на якісних і кількісних показниках процесів фотосинтезу, транспірації та споживання теплової енергії для випаровування (Третьак, Черневий, 2020; Chernevyy et al., 2024). В основу наших узагальнень покладено результати обчислення обсягу впливу приросту фітомаси лісової рослинності на кількісні показники цього продукційного процесу. Це стосується лісів Центральної та Східної Європи, зокрема, Німеччини, Польщі, України. Відповідні дані наведені у табл. 1 та опубліковані раніше (Tretyak et al., 2024). Ці дані доповнено результатами обчислень показників охолоджуючого ефекту і надалі вони слугують матеріалом для порівнянь з іншими територіями. Відповідно, для цього у роботі представлено також оригінальні результати обчислення продуктивності та матеріально-енергетичного балансу лісів зони Полісся і Лісостепової зони у межах модельних областей західного регіону України, які загалом є співрозмірними за площею (табл. 2).

У межах України середньорічний приріст об'єму стовбурової деревини (Z) у лісах Полісся прийнято $3,9 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$, а для Лісостепової зони – на рівні середнього показника $4,2 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$. Відповідно до цих даних, обчислено матеріально-енергетичні показники продуктивності деревостанів за відповідною методикою (Третьак, Черневий, 2020; Tretyak, & Chernevyy, 2022, Tretyak et al., 2024), яку в узагальненому вигляді подаємо нижче.

Для перерахунку на щорічний приріст об'єму загальної фітомаси (Z_f), що, окрім деревини стовбурів, містить обсяг деревини та кори гілок і коренів, застосовано конверсійний коефіцієнт 2. До прикладу, якщо річний приріст деревини становить $3,9 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$, то приріст загальної фітомаси є вдвічі більшим – $7,8 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$.

Щорічний приріст сухої загальної фітомаси (Z_{dr}) обчислено шляхом множення середнього приросту (Z_f) на середню щільність сухої деревини. Для лісів України приймаємо цей показник на рівні $0,6 \text{ т}\cdot\text{м}^{-3}$. Для лісів Полісся, де переважають деревостани сосни звичайної, цей показник щільності умовно приймаємо на рівні $0,5 \text{ т}\cdot\text{м}^{-3}$, а для лісів Лісостепової зони, де панівними є букові та дубово-грабові ліси – на рівні $0,7 \text{ т}\cdot\text{м}^{-3}$.

Щорічну кількість приросту депонованого у фітомасі вуглецю (ΔC) обчислюємо шляхом множення Z_{dr} на $0,5$ (середня відносна величина вмісту вуглецю у рослинній масі). Загальну кількість щорічно депонованого вуглецю (ΣC) визначено множенням показника ΔC на загальну площу вкритих лісом земель (S). Відповідно до кількості приросту депонованого вуглецю (ΔC), пропорційно обчислено кількість продукованого кисню (ΣO_2), застосувавши коефіцієнт 2,668.

Утворення однієї тонни сухої фітомаси дерев різних видів, що ростуть в умовах Центральної та Східної Європи, супроводжується транспірацією в обсязі від 600 до 1200 тонн водяної пари (ΣH_2O). Для наших обчислень цей коефіцієнт транспірації умовно приймаємо на рівні 800. Відповідно, за умови депонування однієї тонни вуглецю випаровування становитиме 1600 т водяної пари.

Депонування однієї тонни вуглецю у фітомасі потребує споживання 1,1 ГВт·год теплової енергії (Eg). Цей процес може призвести до охолодження на 1,06°C 30-метрового приземного шару повітря на площі 1 га. Відповідно до зазначених пропорцій, обчислено та представлено у таблицях сумарні показники продуктивності лісової рослинності різних територій та відповідного охолоджуючого ефекту. Його обчислюємо множенням суми щорічно депонованого лісовою рослинністю вуглецю ΣC на коефіцієнт охолодження 1,06 і діленням на площу. Охолоджуючий ефект ΔT_1 обчислюємо щодо абсолютної площі лісу, а ΔT_2 – стосовно загальної площі території частини Європи, країни чи області.

Результати (Results). Попередньо встановлено, що ліси Центральної та Східної Європи загалом депонують щорічно $529 \cdot 10^6$ т·рік⁻¹ вуглецю, а також продукують значний обсяг кисню, орієнтовно 1411 млн тонн (Tretyak et al., 2024). Відповідно, вклад лісів Німеччини за цими показниками становить 13,4%, Польщі – 5,8%, України – 4,3% (див. табл. 1). Беручи до уваги матеріально-енергетичний потенціал цих лісів, можна дійти висновку, що у перерахунку на всю площу Центральної та Східної Європи питома частка депонованого лісовою рослинністю вуглецю становить $0,18$ т·га⁻¹·рік⁻¹. Відповідно, кисню продукується $0,48$ т·га⁻¹·рік⁻¹, транспірується водяної пари $288 \cdot 10^6$ т·га⁻¹·рік⁻¹, а на випаровування споживається $0,198$ ГВт·год·га⁻¹·рік⁻¹. Зокрема, для лісів Німеччини ці показники становлять: депонований вуглець – $2,02$ т·га⁻¹·рік⁻¹, кисень – $5,37$ т·га⁻¹·рік⁻¹, водяна пара – $3226 \cdot 10^6$ т·га⁻¹·рік⁻¹, споживання енергії – $2,17$ ГВт·год·га⁻¹·рік⁻¹. Стосовно лісів Польщі, ці показники є вдвічі меншими: депонований вуглець – $0,95$ т·га⁻¹·рік⁻¹, кисень – $2,54$ т·га⁻¹·рік⁻¹, водяна пара – $1528 \cdot 10^6$ т·га⁻¹·рік⁻¹, споживання енергії – $1,05$ ГВт·год·га⁻¹·рік⁻¹. Для лісів України ці показники є у 5,3 разів меншими, ніж у Німеччині і у 1,4 рази меншими, ніж у Польщі та становлять: вуглець – $0,38$ т·га⁻¹·рік⁻¹, кисень – $1,00$ т·га⁻¹·рік⁻¹, водяна пара – $601 \cdot 10^6$ т·га⁻¹·рік⁻¹, споживання енергії – $0,41$ ГВт·год·га⁻¹·рік⁻¹.

Наведене вище питоме споживання теплової енергії лісом унаслідок випаровування дало змогу обчислити можливе охолодження 30-метрового приземного шару повітря. У межах лісів Центральної та Східної Європи охолодження повітря може становити 2,61°C, а в межах усієї території регіону – 0,19°C. Відповідно, у межах Німеччини ці по-

казники становитимуть 6,87°C / 2,09°C, Польщі – 3,63°C / 1,01°C, України – 2,48°C / 0,39°C.

Показники матеріально-енергетичного впливу лісів модельних областей зони Полісся та Лісостепової зони наведено у табл. 2. Ліси трьох обраних областей Полісся, загальна площа яких становить 2382 тис. га, можуть продукувати разом 14,9 млн тонн кисню, транспірувати 8,8 млн тонн води, споживати 6,1 млн ГВт·год теплової енергії. Ліси п'яти обраних областей Лісостепу, загальна площа яких становить 2068 тис. га можуть продукувати разом 13,9 млн тонн кисню, транспірувати 8,2 млн тонн води, споживати 5,9 млн ГВт·год теплової енергії. У межах лісів Полісся градієнт охолодження може становити 2,07°C, а у межах обраних областей Лісостепової зони – 2,67°C. Найвищий показник охолодження повітря, стосовно загальної площі території, виявлено для Івано-Франківської області (1,23°C), найнижчий – для Хмельницької та Тернопільської областей – 0,36°C та 0,37°C відповідно. Для решти областей він становить від 0,67°C до 0,85°C (див. табл. 2).

Дискусія (Discussion). Отримані результати наочно свідчать про велику різницю у продуктивності та матеріально-енергетичному балансі лісів у межах Центральної та Східної Європи. Зокрема, найвищі показники властиві для лісів Німеччини, середні – для лісів Польщі, найнижчі – для лісів України. Це, очевидно, пов'язано з відмінністю у продуктивності лісів цих держав, середнім запасом деревостанів та їх щорічним приростом. Оскільки площа Польщі є вдвічі меншою, ніж площа України, а річний приріст деревини в 1,5 разів вищий, ніж в Україні, то відповідно і матеріально-енергетичний вплив лісів у межах території Польщі є у 2,8 разів більшим, ніж в Україні. Щодо лісів Німеччини, річний приріст яких у 2,8 разів вищий, ніж в Україні, а її площа майже удвічі менша, то матеріально-енергетичний вплив лісів у межах території Німеччини є у 5,3 рази більшим, ніж в Україні. Також у Німеччині середній запас деревостанів становить 336 м³·га⁻¹, у Польщі – 288 м³·га⁻¹, а в Україні – 235 м³·га⁻¹. Водночас середньорічний приріст деревини становить, відповідно, 10,8, 5,7 і 3,9 м³·га⁻¹·рік⁻¹. Такі відмінності у показниках продуктивності лісів цих країн можуть бути зумовлені значною різницею у показниках абсолютної повноти деревостанів, а також більшим представництвом в їх складі біотично стійких, швидкорослих деревних видів, оскільки такі великомірні швидко-рослі дерева у деревостанах можуть забезпечити високі показники щорічного середнього приросту (Третяк, Черневий, 2020, Tretyak, & Chernevyy, 2022, Tretyak et al., 2024).

Подібні тенденції властиві для лісів обраних модельних областей України. Так, модельні області Полісся разом займають площу 70027 км², що становить 12% від загальної площі України. В їх межах лісовою рослинністю щорічно депонується 4647 млн т вуглецю, що становить понад 20% від

цього показника в лісах України загалом. Загальна площа обраних областей Лісостепу становить 78282 км² або 13% від загальної площі України. В їх межах лісовою рослинністю щорічно депонується 5208 мнл т вуглецю, що становить 23% від цього показника в лісах України загалом. Отже, середній показник потенціалу матеріально-енергетичного балансу стосовно транспірованої водяної пари, продукovanого кисню та охолоджуючого ефекту повітря обраних областей в межах Полісся та Лісостепу є у 1,8 разів більшим, ніж в лісах України загалом. Окремо в межах обраних модельних областей України такі показники можуть бути рівними або у 2-3 рази більшими, ніж в лісах України, а також від двох до шести разів більшими, ніж у лісах Центральної та Східної Європи загалом.

Отримані результати щодо продуктивності лісів та депонованого вуглецю загалом подібні до опублікованих даних інших авторів (Василишин, Домашовець, 2008; Лакида., Домашовець, 2006; Лакида П., Василишин, Лакида, І., 2018).

Отже, загальна продуктивність лісів та їх матеріально-енергетичний баланс істотно залежить від загальної площі деревостанів (абсолютної і відносної) та їхнього приросту. В межах Полісся показник приросту становить лише 3,9 м³·га⁻¹·рік⁻¹, а в Лісостеповій зоні – 4,2 м³·га⁻¹·рік⁻¹. Найнижчі показники продукування кисню, транспірованої води, спожитої теплової енергії та охолоджуючого ефекту виявлено у межах всієї території Тернопільської та Хмельницької областей, де відносна площа лісів не перевищує 14%, а найвищі ці показники можуть очікуватися для території Івано-Франківської області, де площа лісів сягає 46%. Середні показники притаманні для лісів Чернівецької, Волинської, Рівненської, Житомирської та Львівської областей, лісистість яких становить 32 – 35%. Саме тому природним ландшафтам, де збережена на значних площах лісова рослинність, властивий м'якіший і вологіший клімат без прояву значних екстремумів температур повітря та його вологості, а також значне насичення його киснем порівняно з невідкритими лісами територіями.

Згадане охолодження повітря лісовою рослинністю має важливе кліматоформує значення, оскільки призводить до загального зниження температури повітря та підвищення його відносної вологості. Зростання відносної вологості під час охолодження повітря призводить до стану швидшого його насичення водяною парою та її конденсації у вигляді місцевих опадів. Це має велике значення у перерозподілі запасів ґрунтової та атмосферної вологи між лісовою рослинністю і навколишніми невідкритими лісами територіями, а також для місцевого поповнення запасів ґрунтових вод. З одного боку, лісова рослинність інтенсивно споживає запаси ґрунтової вологи, з іншого – водночас забезпечує вологою суміжні території. Отже, такий процес забезпечує інтенсивне проходження малого кругообігу водних ресурсів.

Таблиця 1. Матеріально-енергетичні показники впливу лісів модельних територій на стан повітря, 2020 р.
Table 1. The Forests impact on the air material and energy balance, 2020 (Tretyak, Lukianchuk, & Krynytskyu, 2024)

Територія	Площа території, км ²	S*		Z	Zf	Zdr	ΔC	ΣC	ΣO ₂	ΣH ₂ O	Eg	ΔT1	ΔT2
		абсолютна, га	відносна, %										
Центральна та Східна Європа	2945·10 ⁶	215000·10 ³	7,3	4,1	8,2	4,92	2,46	528900·10 ³	1411105·10 ³	846240·10 ⁶	581790·10 ³	2,61	0,19
Німеччина	357 592	10900·10 ³	30,4	10,8	21,6	12,96	6,48	70630·10 ³	188441·10 ³	113008·10 ⁶	77690·10 ³	6,87	2,09
Польща	322575	9000·10 ³	28,8	5,7	11,4	6,84	3,42	30780·10 ³	82121·10 ³	49248·10 ⁶	33860·10 ³	3,63	1,01
Україна	603 628	9690·10 ³	15,9	3,9	7,8	4,68	2,34	22670·10 ³	60484·10 ³	36272·10 ⁶	24940·10 ³	2,48	0,39

* S – загальна площа вкритих лісом земель: абсолютна, га і відносна, %; Z – середньорічний приріст деревини, м³·га⁻¹·рік⁻¹; Zf – щорічний приріст загальної фітомаси, м³·га⁻¹·рік⁻¹; Zdr – щорічний приріст сухої загальної фітомаси, т·га⁻¹·рік⁻¹; ΔC – щорічний приріст депонованого вуглецю, т·га⁻¹·рік⁻¹; ΣC – щорічна кількість приросту вуглецю, депонованого у фітотомі, т·рік⁻¹; ΣO₂ – загальна кількість кисню, утвореного протягом року, т; ΣH₂O – загальна кількість водяної пари, транспірованої протягом року, т; Eg – обсяг спожитої теплової енергії, ГВт·год; ΔT1 – температурний градієнт охолодження шару повітря стосовно абсолютної площі лісу, °C; ΔT2 – температурний градієнт охолодження 30-метрового шару повітря стосовно площі регіону, держави чи області, °C.

Таблиця 2. Показники впливу продуктивності лісової рослинності західних областей України на матеріально-енергетичний баланс повітря, 2020 р.

Table 2. Impact on the material and energy air balance of the forest vegetation productivity in the western regions of Ukraine, 2020

Територія	Площа території, км ²	S*		Z	Zf	Zdr	ΔC	ΣC	ΣO ₂	ΣH ₂ O	Eg	ΔT1	ΔT2
		абсолютна, га	відносна, %										
Полісся													
Волинська область	20144	683•10 ³	34,0	3,9	7,8	3,9	1,95	1332•10 ³	3554•10 ³	2131•10 ⁶	1465•10 ³	2,07	0,70
Рівненська область	20 051	653•10 ³	32,6	3,9	7,8	3,9	1,95	1273•10 ³	3396•10 ³	2037•10 ⁶	1400•10 ³	2,07	0,67
Житомирська область	29 832	1047•10 ³	35,1	3,9	7,8	3,9	1,95	2042•10 ³	5448•10 ³	3267•10 ⁶	2246•10 ³	2,07	0,73
Лісостепова зона													
Львівська область	21 833	695•10 ³	31,8	4,2	8,4	5,04	2,52	1751•10 ³	4672•10 ³	2801•10 ⁶	1926•10 ³	2,67	0,85
Тернопільська область	13 824	192•10 ³	13,8	4,2	8,4	5,04	2,52	483•10 ³	1289•10 ³	773•10 ⁶	531•10 ³	2,67	0,37
Хмельницька область	20 629	281•10 ³	13,6	4,2	8,4	5,04	2,52	708•10 ³	1889•10 ³	1132•10 ⁶	779•10 ³	2,67	0,36
Івано- Франківська область	13 900	640•10 ³	46,0	4,2	8,4	5,04	2,52	1613•10 ³	4303•10 ³	2581•10 ⁶	1774•10 ³	2,67	1,23
Чернівецька область	8 096	259•10 ³	32,0	4,2	8,4	5,04	2,52	653•10 ³	1742•10 ³	1044•10 ⁶	718•10 ³	2,67	0,85

* S – загальна площа вкритих лісом земель: абсолютна, га і відносна, %; Z – середньорічний приріст деревини, м³·га⁻¹·рік⁻¹; Zf – щорічний приріст загальної фітомаси, м³·га⁻¹·рік⁻¹; Zdr – щорічний приріст сухої загальної фітомаси, т·га⁻¹·рік⁻¹; ΔC – щорічний приріст депонованого вуглецю, т·га⁻¹·рік⁻¹; ΣC – щорічна кількість приросту вуглецю, депонованого у фітомасі, т; ΣO_2 – загальна кількість кисню, утвореного протягом року, т; ΣH_2O – загальна кількість водяної пари, транспірованої протягом року, т; Eg – обсяг спожитої теплової енергії, ГВт·год; ΔT_1 – температурний градієнт охолодження 30-метрового шару повітря стосовно абсолютної площі лісу, °C; ΔT_2 – температурний градієнт стосовно площі регіону, держави чи області, °C.

Для підвищення описаних вище матеріально-енергетичних показників життєдіяльності лісової рослинності потрібно зосередити увагу на необхідності збільшення площі лісів та їх продуктивності. Бажано вирощувати деревостани, що відзначаються високими показниками щорічного приросту стовбурової деревини. Цього можна досягнути збільшенням представництва у них цінних швидкорослих деревних видів, що призведе до збільшення питомих сум площ перерізу стовбурів дерев, загальних запасів деревостанів та їхньої здатності до охолоджуючого ефекту (Lukianchuk, & Tretyak, 2024).

Висновки (Conclusions). Частка продуктивності лісів України та їх матеріально-енергетичного впливу на повітряний басейн Центральної і Східної Європи становить орієнтовно 4,3%, що у 4 рази менше, ніж лісів Німеччини і в 1,3 рази менше, ніж лісів Польщі. Загалом ліси України щорічно можуть депонувати понад 22 млн т вуглецю, продукувати понад 60 млн т кисню, транспірувати 36272 млн т водяної пари, споживати 24 млн ГВт·год енергії та охолоджувати 30-метровий шар повітря на 2,48°C в межах вкритих лісом земель та на 0,39°C – в межах всієї території України.

У модельних областях Полісся та зони Лісостепу щорічна кількість депонованого лісами вуглецю становить, відповідно, $1332-2042 \cdot 10^3$ і $483-1751 \cdot 10^3$ т; обсяг продукованого кисню – $3554-5448 \cdot 10^3$ і $1289-4672 \cdot 10^3$ т; транспірованої водяної пари – $2037-3267 \cdot 10^6$ і $773-2801 \cdot 10^6$ т. Варіабельність значень зумовлена різною площею лісів та їхньою продуктивністю. В межах досліджених модельних областей України потенціал продуктивності та показники матеріально-енергетичного балансу лісів можуть бути рівними або у 2-3 рази більшими, ніж у лісах України, а також від двох до шести разів більшими, ніж у лісах Центральної та Східної Європи загалом.

Зростання показників продуктивності та матеріально-енергетичного балансу лісів пропорційно визначає загальне збагачення повітря киснем, що є корисним середовищевірним санітарно-гігієнічним чинником. Великі маси водяної пари зволожують повітря та істотно його охолоджують, що має важливе локальне кліматоформує значення, оскільки призводять до загального зниження температури повітря та підвищення його відносної вологості. Загалом для підвищення матеріально-енергетичних показників життєдіяльності лісової рослинності необхідно збільшувати площу лісів та їхню продуктивність.

Список літератури (References)

Василишин, Р.Д., Домашовець, Г.С. (2008). Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18(4), 50-58.

[Vasylyshyn, R., & Domashovets, H. (2008). Phytomass and deposited carbon of forests of Lviv region in the context of forest vegetation zoning. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 18(4), 50-58. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330854122_fitomasa_ta_deponovaniy_vuglec_lisiv_lvivskoi_oblasti_v_konteksti_lisoroslinnogo_rajonuвання] (in Ukrainian)

Лакида, П., Васи́лишин, Р., Лакида, І. (2018). Біопродуктивність лісових фітоценозів України в умовах глобальних викликів. *ResearchGate*, 45(14), 169-173. [Lakyda, P., Vasylyshyn, R., & Lakyda, I. (2018). Bioproductivity of forest phytocenoses of Ukraine in conditions of global challenges. *ResearchGate*, 45(14), 169-173. <https://doi.org/10.15421/411623>] (in Ukrainian)

Лакида, П.І., Домашовець, Г.С. (2006). Динаміка продуктивності головних лісоутворювальних порід Львівщини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 16(5), 17-21. [Lakyda, P.I., & Domashovets, G.S. (2006). Dynamics of productivity of the main forest-forming species of Lviv Oblast. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 16(5), 17-21. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_5/index.htm] (in Ukrainian)

Третяк, П.Р., Черневий, Ю.І. (2020). Матеріально-енергетичний вплив лісової рослинності на довкілля. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 21, 11-21. [Tretyak, P.R., & Chernivy, Yu.I. (2020). Matter and energy influence of forest vegetation on the environment. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 21, 11-21. <https://doi.org/10.15421/412021>] (in Ukrainian)

Absalon, D., & Slesak, B. (2012). Air Temperature Increase and Quality of Life in an Anthropogenically Transformed Environment: A Case Study. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(1), 235-239. Retrieved from https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/2205575

Arundel, A.V., Sterling, E.M., Biggin, J.H., & Sterling, T.D. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspect*, 65, 351-61. <https://doi.org/10.1289/ehp.8665351>

Atwoli, L., Baqui, A., Benfield, T., Bosurgi, R., Godlee, F., Hancocks, S., ... Vázquez, D. (2021). Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity and protect health. *New England Journal of Medicine*, 385, 1134-1137. <https://doi.org/10.1056/NEJMe2113200>

Balbus, J., Crimmins, A., Gamble, J.L., Easterling, D.R., Kunkel, K.E., Saha, S., & Sarofim, M.C. (2016). *Introduction: Climate Change and Human Health*. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U. S. Global Change Research Program, Washington, DC, 25-42. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.7930/J0VX0DFW>

Barata, M., Ligeti, E., De Simone, G., Dickinson, T., Jack, D., Penney, J., ... Zimmerman, R. (2011). *Cli-*

- mate change and human health in cities. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, C. Rosenzweig, W.D. Solecki, S.A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 179-213. Retrieved from <https://uccrn.ei.columbia.edu/sites/default/files/content/docs/ARC3.1/ARC3-Chapter-7.pdf>
- Chernevyy Y., Tretyak, P., Krynytskyy, H., & Savchyn, A. (2024). Environmental and economic significance of big, old-growth trees. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 475-88. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314848>
- Europe Warming Faster Than Any Other Continent, Report Suggests (2023). By Mary Whitfill, Roeloffs Forbes Staff, Breaking news reporter. Jun 19, 2023. Retrieved from <https://www.nbcnews.com/science/environment/europe-fastest-warming-continent-twice-global-average-report-rcna148829>
- Falkenbach, A. (2001). Medical Balneology and Climatology in Europe. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 50(1), 7-18. <https://doi.org/10.7600/jspfsm1949.50.1>
- Guarnieri, G., Olivieri, B., Senna, G., & Vianello, A. (2023). Relative Humidity and Its Impact on the Immune System and Infections. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11): 9456. <https://doi.org/10.3390/ijms24119456>
- Liberacki, D., Szafranski, C., Stasik, R., & Korytowski, M. (2008). Bilans wodny małej zlewni leśnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 528, 251-257. [Liberacki, D., Szafranski, C., Stasik, R., & Korytowski, M. (2008). Water balance of a small forest catchment. *Problem Papers of Progress in Agricultural Sciences*, 528, 251-257. Retrieved from <http://www1.up.poznan.pl/imksig/wp-content/uploads/2014/08/Publikacje2008/7-2008.pdf> [accessed 17.07.2021]] (in Polish)
- Lukianchuk, N., & Tretyak, P. (2024). Environmental forming health improving effect of tree and shrub vegetation as a sanogenic factor on air: View on the problem. *Lviv Clinical Bulletin*, 1(45), 43-48. <https://doi.org/10.25040/lkv2024.01.043>
- Meletis, C., & Kimberly, W. (2019). The Crucial Role of Oxygen for Health. *Journal of Restorative Medicine*, 8(1), <https://doi.org/10.14200/jrm.2019.0106>
- Nienaber, F., Rewitz, K., Seiwert, P., & Müller, D. (2021). *Einfluss der Luftfeuchte auf den Menschen und seine Gesundheit*. White Paper RWTH-EBC 2021-001, Aachen. [Nienaber, F., Rewitz, K., Seiwert, P., & Müller, D. (2021). *Influence of air humidity on humans and their health*. White Paper RWTH-EBC 2021-001, Aachen. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2021-01238>] (in Germany)
- Nwoke, B., Nwoke, E., & Ukpai, O. (2009). Effect of climate change on human health and some adaptive strategies – a review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(1), 168-172. Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/bajopas/article/view/58537>
- Shamdasani, R., Colville, R., Throssell, L., & Hurtado, M. (2021). *Frequently Asked Questions on Human Rights and Climate Change*. UN Office of the High Commissioner for Human Rights Fact Sheet, No.38. 84 p. Retrieved from <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/deed>.
- Tretyak, P., Lukianchuk, N., & Krynytskyy, H. (2024). Climate-mediating role of forests in Central and Eastern Europe. *International Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2389669>
- Tretyak, P., & Chernevyy, Y. (2022). The influence of forest biomass growth on evaporation intensity and possible regional climate changes. *Sylvan*, 166, 1-16. <https://doi.org/10.26202/sylvan.2021086>
- Ziarnicka-Wojtaszek, A. (2015). Klimatyczny bilans wodny na obszarze Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 15(4(52)), 93-100. [Ziarnicka-Wojtaszek, A. (2015). Climatic water balance in Poland in the light of contemporary climate change (2015). *Water-Environment-Rural Areas* 15(4(52)), 93-100. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/301890073_Klimatyczny_bilans_wodny_na_obszarze_Polski_w_swietle_wspolczesnych_zmian_klimatu] (in Polish)
- Zivin, J.G., & Shrader, J. (2016). Temperature Extremes, Health, and Human Capital. *The Future of Children*, 26(1), 31-50. <https://doi.org/10.1353/foc.2016.0002>

The Climate-forming role of the production process of the forests of Ukraine

P. Tretyak¹, N. Lukianchuk², H. Krynytskyy³

Forest vegetation plays a significant climate-regulating, oxygen-producing and moisture-producing function, which has not yet been sufficiently studied.

¹ Platon Tretyak – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the regional biocenotic monitoring Department. State Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine, 18 Teatralna st., Lviv, 79000, Ukraine. Phone: +38-032-235-69-17. E-mail: platon.tretyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-060X>

² Nelia Lukianchuk – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Ecology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-983-77-73. E-mail: Lukyanchuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2354-2446>

³ Hryhoriy Krynytskyy – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, President of FAS of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry at Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-237-89-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

Therefore, the aim of our study was an original calculation of the total values of the oxygen-production process and evaporation by forest vegetation using the example of forest and forest-steppe zones of the Western region of Ukraine. Our generalizations are based on the results of calculating the impact of forest vegetation phytomass growth on the quantitative indicators of this production process: carbon sequestration, oxygen production, water vapor transpiration and the consumption of thermal energy for this, as well as the corresponding air cooling due to evaporation. The source materials were official data on the area of forests and their annual increment within the model regions and Ukraine as a whole, as well as for comparison – in Poland, Germany and within Central and Eastern Europe.

The share of productivity of forests in Ukraine and their material-and-energy impact on the air basin of Central and Eastern Europe is approximately 4.3%, which is 4 times less than for the forests of Germany and 1.3 times less than for the forests of Poland. In total, the forests of Ukraine annually can deposit more than 22 million tons of carbon, produce more than 60 million tons of oxygen, transpire 36,272 million tons of water vapor, and consume 24 million GW*h of energy.

Within the selected model regions of Ukraine, the productivity potential and indicators of the material-and-energy balance of the forests may be equal to or 2-3 times greater than those in the forests of Ukraine

as a whole, as well as 2 to 6 times greater than in the forests of Central and Eastern Europe as a whole. The indicators of the material-and-energy balance that determine the general enrichment of the air with oxygen (atomic), which is a useful environment-forming sanitary and hygienic factor, grow in proportion to the productivity of the stands. In addition, large masses of water vapor moisten the air and significantly cool it. Within the forests of Central and Eastern Europe, air cooling can be 2.61 °C, and within the entire territory of the region – 0.19 °C. Accordingly, within Germany, these indicators will be 6.87 °C / 2.09 °C, in Poland – 3.63 °C / 1.01 °C, and within Ukraine – 2.48 °C / 0.39 °C. The above-mentioned cooling of the air by forest vegetation has an important climate-forming significance, since it leads to a general decrease in air temperature and an increase in its relative humidity.

In order to improve the above-described material-and-energy indicators of the vital activity of forest vegetation, attention should be focused on the need to increase the area of forests and their productivity. It is advisable to grow stands that are characterized by high rates of annual increment of stemwood. This can be achieved by increasing the presence of elite, large-sized, fast-growing trees, which will lead to an increase in the total basal area of tree trunks and the total standing volume of forest stands, as well as their annual increment.

Key words: oxygen; air humidity; transpiration; productivity; health effect.