



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412502>
Article received 2025.01.22
Article revised 2025.02.13
Article accepted 2025.06.26
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Petro Lakyda
petro.lakyda@ukr.net
6 Bolsunovska st., Kyiv, 01601, Ukraine

УДК 630*5:502 (477.42)

Інформативне забезпечення моделювання біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника

П. І. Лакида¹, Л. М. Матушевич², О. С. Гоцик³, Г. А. Сахарук⁴

Оцінювання екологічних функцій лісів в умовах глобальної зміни клімату, як інструментарію протидії цим процесам, є нагальною та актуальною проблемою людства. Особливу увагу при цьому приділено природно-заповідним територіям (заповідникам, заказникам), які слугують певними маркерами реакції лісових екосистем на ці зміни.

Важливими етапами у процесі дослідження біопродуктивності лісів є збір, агрегування та опрацювання дослідних даних, які б відображали основні таксаційні показники та найбільш типові умови росту деревостанів головних лісотвірних деревних видів. З цією метою для оцінювання біотичної продуктивності деревостанів та моделювання основних екологічних функцій лісів Поліського природного заповідника було використано дані 48 тимчасових пробних площ, закладених у соснових лісостанах досліджуваного об'єкта науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України. У лісостанах природного походження закладено 20, штучного – 28 тимчасових пробних площ. При цьому використана методика збору дослідного матеріалу П. І. Лакиди, яка передбачає проведення двох видів науково-дослідних робіт: польових лісотаксаційних та лабораторних. Закладені тимчасові пробні площі адекватно описують наявний стан лісів досліджуваного об'єкта.

Експериментальний матеріал дав змогу розробити коректні математичні моделі оцінювання компонентів фітомаси модальних соснових деревостанів та їхньої динаміки, і на основі цих моделей оцінити загальні обсяги фітомаси (за фракціями) з подальшим моделюванням основних екологічних функцій лісів досліджуваного природоохоронного об'єкта.

Ключові слова: тимчасові пробні площі; деревостан; таксаційні показники, модельні дерева; стовбур; гілки; деревина; кора; щільність; хвоя.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, Перший віце-президент ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, Заслужений діяч науки і техніки України, завідувач сектору наукового забезпечення ДП «Ліси України», вул. Болсуновська, 6, м. Київ, 01601, Україна. E-mail: petro.lakyda@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Матушевич Любов Миколаївна – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, доцент. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: matushevych@pubir.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-3215>

³ Гоцик Олександр Степанович – пошукач наукового ступеня кандидата наук. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: gotsyk.o@icloud.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5680-4945>

⁴ Сахарук Галина Антонівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: gsakharuk68@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2561-1385>

Вступ (Introduction).

Кожне наукове дослідження – це процес вивчення конкретного об'єкта (предмета або явища) з метою розкриття закономірностей його виникнення, розвитку і перетворення в інтересах суспільства (Грищенко, Григоренко, Борисейко, 2001). Багато вітчизняних (Лакида, 2002; Лакида та ін., 2012; Лакида, Ковальська, Білоус, 2019; Лакида, Дубровець, 2020; Ловинська, 2021; Васишин, Юрчук, 2021; Матушевич, Лакида, 2021; Матушевич, 2023; Лакида, Блищик, 2024) та зарубіжних (Nilsson, Sallnaes, & Duinker, 1992; Fisher, Turner, & Morling, 2009; Trembl et al., 2021; Besnard et al., 2021; Pilli et al., 2022; Jinyu Zhao et al., 2025) вчених займаються розробкою нових і вдосконаленням вже існуючих методик збору та первинного оброблення дослідних даних для дослідження біопродуктивності лісів та їхніх екологічних функцій.

Складовими пізнання біопродуктивності лісів є дослідження процесів синтезу, трансформації та акумулювання органічної речовини; аналіз факторів, що зумовлюють продуктивність; швидкість потоків енергії та циркуляції речовин у лісових екосистемах (Пастернак, Букша, 2004; Букша, Пастернак, 2005). Процеси депонування та емісії в атмосферу вуглецю залежать від різних лісотаксаційних показників лісостанів, зокрема типів лісорослинних умов, повноти, віку, складу і структури деревної рослинності. Саме тому необхідно володіти детальною інформацією щодо біомаси рослинності та її динаміки, характеристики мортмаси, запасів органічної речовини лісових ґрунтів для визначення запасів вуглецю у лісових біоценозах. Вище зазначені науковці пропонують для встановлення динаміки продуктивності деревостанів використовувати математичне моделювання, яке дає змогу розраховувати динаміку вуглецю у лісових екосистемах через нагромадження запасів біомаси. Моделі можуть застосовуватись для різних природних умов і дають змогу прогнозувати поглинання вуглецю залежно від зміни клімату та режиму ведення господарства (Букша, Пастернак, 2005; Buksha et al., 2017). Для узагальнення результатів оцінювання динаміки вуглецю класифікаційною основою може слугувати лісівничо-екологічна типологія (Остапенко, Ткач, 2002).

У Шведському університеті аграрних наук розроблена широкомасштабна сценарна модель прогнозування динаміки стану лісів та змін у навколишньому середовищі EFISCEN, яка є однією із найпоширеніших у Європі (Lorinus, & Oeschger, 1994). Вона дає змогу врахувати баланс вуглецю у деревостанах і лісових ґрунтах, імітувати ріст лісу за зміни клімату. Для обчислення вуглецевого балансу необхідно володіти додатковою інформацією про розподіл біомаси, а також мати дані про кліматичні умови, інтенсивність опадів тощо. Ця модель використовувалась у Міжнародному інституті прикладного системного ана-

лізу (IIASA) для визначення впливу кислих опадів на європейські ліси.

Фітомаса за фракціями (стовбур, гілки, корені, листя тощо) може бути обчислена на основі розрахованого стовбурового запасу за допомогою підмоделі EFISCEN-C (Букша, Пастернак, 2005).

Завдяки моделюванню є можливість отримувати інформацію про динаміку приростів, запасів, розподіл таксаційних показників за класами віку, кількістю деревини, заготовленої у процесі рубок, дані про компоненти фітомаси, живе ґрунтове вкриття, вміст гумусу в ґрунтах тощо.

Дані багатьох публікацій (Phua, & Satio, 2003; Лакида та ін., 2012; Дубровець, Лакида, 2017; Мороз, Никитюк, 2019) свідчать, що найпоширеніший підхід до оцінювання сухої органічної маси деревостанів і депонованого у ній вуглецю пов'язаний із перевідним (конверсійним) коефіцієнтом (співвідношення між компонентами фітомаси лісостану та запасом стовбурової деревини). Причини його застосування полягають у тому, що: а) оцінювання фітомаси за фракціями під час лісовпорядкування потребує додаткових затрат праці, які за обсягом не можуть бути порівняні з традиційним оцінюванням запасів стовбурової деревини; б) для основних лісотвірних деревних видів уже розроблено нормативи для оцінювання запасів стовбурової деревини, таблиці ходу росту (ТХР), цільові програми лісовирощування, а тому повторювати весь цей шлях для фітомаси недоцільно з погляду значних витрат часу та обчислювальних ресурсів.

В Україні вже понад 40 років у цьому напрямі досліджень працює наукова школа П.І. Лакиди (Лакида та ін., 2012, 2019; Ловинська, 2021; Васишин, Юрчук, 2021; Матушевич, Лакида, 2021; Матушевич, 2023; Лакида, Блищик, 2024). Тому, у процесі досліджень загальної біотичної продуктивності лісів Поліського природного заповідника (Поліського ПЗ) та їх динаміки за основу використано методику збору дослідних даних (Лакида, 2002), яка ґрунтується на вдало поєднаних біометричних і таксаційних прийомах та передбачає у своєму проведенні два види науково-дослідних робіт: польових лісотаксаційних та лабораторних. Від існуючих методик (Phua, Satio, 2003) вона відрізняється тим, що увесь комплекс нормативів як для окремого дерева, так і для деревостану побудований на базі моделей фітомаси дерев і закономірностях будови деревостанів за діаметром. Поряд з цим, методика модифікована відповідно до об'єкта досліджень.

В сучасних умовах екологічних викликів дедалі більшої актуальності набувають дослідження біопродуктивності лісових екосистем природно-заповідних територій. У зв'язку з цим, *актуальність дослідження* полягає в тому, що його результати стануть основою для розроблення моделей компонентів фітомаси модальних соснових деревостанів Поліського природного заповідника.

Це дасть змогу оцінити внесок лісів заповідника у глобальний вуглецевий цикл та визначити його роль у пом'якшенні наслідків зміни клімату.

Мета роботи полягає в агрегації експериментальних даних для розробки нормативно-інформаційного забезпечення щодо оцінювання біотичної продуктивності лісів Поліського природного заповідника.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси формування біотичної продуктивності деревостанів Поліського природного заповідника залежно від таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних деревних видів на основі експериментальних даних, зібраних у досліджуваному об'єкті. *Предмет дослідження* – стан і продуктивність деревостанів Поліського ПЗ залежно від їхніх таксаційних показників, зібраних на тимчасових пробних площах (ТПП).

Загальна площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок Поліського ПЗ складає 16948,7 га, а загальний запас лісостанів – 3421,14 тис. м³. Лісова рослинність займає 84,3% сучасної терито-

рії заповідника, причому переважну роль у формуванні лісового намету відіграють хвойні деревостани (88,5% від загального запасу). М'яколистяні лісостани у структурі лісового фонду за запасом складають 11,4%, а твердолистяні майже відсутні (0,1%). Сосна звичайна посідає панівне місце серед деревних видів й росте на площі 14549,7 га, що становить 85,8% площі вкритих лісовою рослинністю ділянок. Відповідно й запас сосни звичайної найбільший – 3028,58 тис. м³, або 88,5% від загального запасу деревостанів заповідника (рис. 1).

Під час збору експериментальних даних використана апробована методика збору дослідного матеріалу (Лакида, 2002). Відповідно до неї, в процесі досліджень загальної біотичної продуктивності лісів Поліського ПЗ та їх динаміки використано дані 48 тимчасових пробних площ, закладених співробітниками та аспірантами кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України (м. Київ). У лісостанах природного походження закладено 20, штучного – 28 тимчасових пробних площ (Гоцик, Сахарук, 2018; Гоцик, Лакида, Сахарук, 2021).

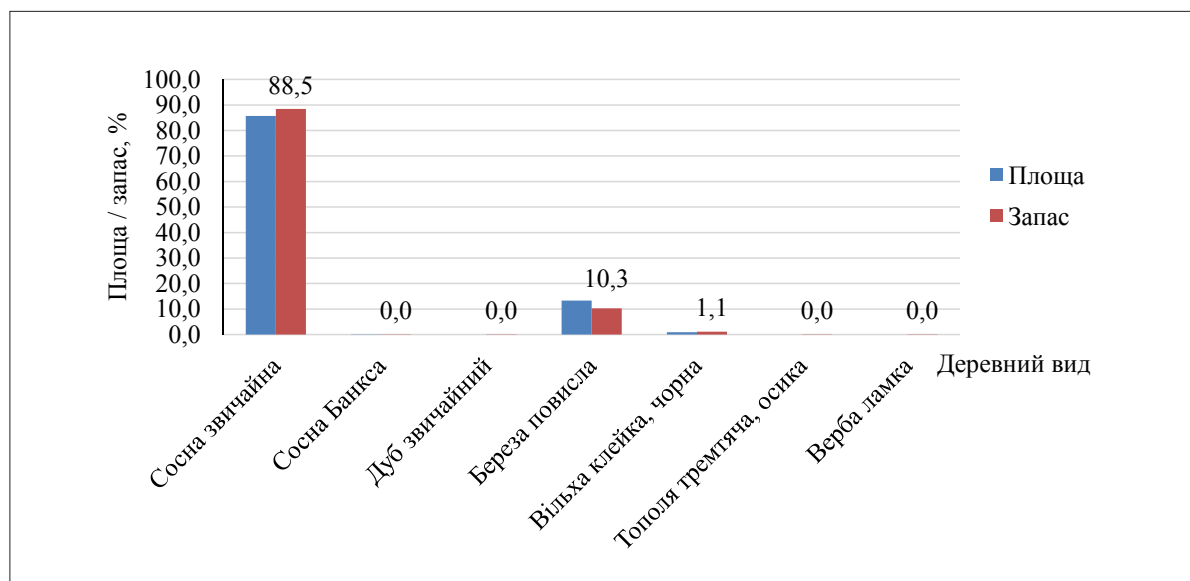


Рис. 1. Розподіл площі й запасу деревостанів Поліського природного заповідника за деревними видами, %

Fig. 1. Distribution of the area and stock of stands of the Polissia Nature Reserve by tree species, %

Оскільки у лісостанах Поліського ПЗ домінує сосна звичайна із часткою у загальному запасі 88,5%, то ТПП було закладено саме в соснових деревостанах досліджуваного об'єкта, а також у подібних типах лісорослинних умов (ТЛУ) інших лісгосподарських підприємств – суміжних Житомирської, Волинської та Рівненської областей.

Усі пробні площі були підібрані та закладені згідно з лісівничими та лісотаксаційними вимогами у переважаючих для заповідника типах лісорослинних умов, з продуктивністю деревостанів І^a-V класів бонітету. Вік деревостанів ТПП стано-

вить від 11 до 125 років, діапазон відносних повнот – від 0,34 до 1,20.

У натурі ТПП оформляли відповідно до вимог інструктивно-методичних вказівок лісовпорядкування (Інструктивно-методичні..., 2024). Вони мали прямокутну форму зі співвідношенням сторін не більше як 1:2. Довша сторона ТПП паралельна довшій стороні лісової ділянки. Площу ТПП встановлювали залежно від кількості дерев головного деревного виду: в молодниках їх обліковано не менше 300, у середньовікових – 250, у пристиглих і стиглих деревостанах – 200 штук на проб-

ній площі. На кожній ТПП було здійснено перелік дерев за ярусами, породами і категоріями технічної придатності стовбурів. Одночасно за лісівничими вимогами, у деревостані виділяли зрубівану частину для здійснення рубок догляду слабкої і середньої інтенсивності. У мішаних деревостанах цей облік проводили у межах кожного деревного виду. Окремо враховували сухостій.

Перелік дерев здійснювали за такими ступенями товщини: за середнього діаметра деревостану до 5,9 см – 1 см; від 6,0 см до 16,9 см – 2 см; 17 см і більше – 4 см. Вимірювали діаметри та висоти 3-12 ростучих дерев кожного деревного виду ярусу, для яких не планували зрубівання і опрацювання модельних дерев.

Використані в процесі досліджень ТПП повною мірою репрезентують деревостани Поліського природного заповідника. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за типами лісорослинних умов наведено в табл. 1. Ліси в Поліському ПЗ ростуть переважно у борах (59,9% площі території заповідника), у суборах (38,9% площі), і незначна частка – у сугрудах (1,2%). Варто відзначити, що сосна

звичайна має найвищу продуктивність у свіжих та вологих суборах і сугрудах. Останні в сукупності займають лише 29,7% території заповідника. Вологих сугрудів у заповіднику всього 0,2%. Відповідно до такого розподілу типів лісорослинних умов, ТПП було закладено саме в найбільш поширених типах лісорослинних умов (бори та субори).

Незначна кількість ТПП була закладена у низькоповнотних (0,3; 0,4) лісостанах (табл. 2). Невелика кількість закладених площ пояснюється нетиповістю таких повнот для деревостанів цього об'єкта досліджень. Частина ТПП (5 шт.) має відносну повноту більшу ніж одиниця. Причиною цього можуть бути певні неточності у нормативах, використаних під час розрахунку відносної повноти, де значення табличних сум площ поперечних перерізів за повноти 1,0 є дещо заниженими порівняно з існуючими, які трапляються в деяких модальних деревостанах (Білоус та ін., 2021). Найбільша кількість пробних площ (27 шт.) закладена у лісостанах з відотною повнотою 0,7-0,9, які і є найбільш характерними для Поліського природного заповідника.

Таблиця 1. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за породами та типами лісорослинних умов, шт.

Table 1. Distribution of the number of temporary trial plots by species and types of forest growth conditions, pcs.

Деревний вид і походження	Тип лісорослинних умов							Усього
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₂	B ₃	B ₅	
Сосна звичайна природного походження	–	2	3	2	4	8	1	20
Сосна звичайна штучного походження	4	7	–	–	13	4	–	28
Разом	4	9	3	2	17	12	1	48

Таблиця 2. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за відотною повнотою, шт.

Table 2. Distribution of the number of temporary trial plots by relative density, pcs.

Деревний вид і походження	Повнота									Усього
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,1	
Сосна звичайна природного походження	–	–	2	1	6	4	2	1	4	20
Сосна звичайна штучного походження	1	2	3	3	8	4	3	3	1	28
Разом	1	2	5	4	14	8	5	4	5	48

Серед лісостанів Поліського природного заповідника 78,5% від їх загальної площі займають середньовікові деревостани. Порівняно незначні площі посідають молодняки (8,2%), пристиглі (8,4%) та стиглі і перестійні (4,9%) деревостани.

Аналізуючи дані розподілу кількості ТПП за класами віку (табл. 3), можна стверджувати, що їхній розподіл за цим показником повною мірою відображає вікову структуру панівних деревостанів Поліського природного заповідника.

Таблиця 3. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за класами віку, шт.

Table 3. Distribution of the number of temporary trial plots by age classes, pcs.

Деревний вид і походження	Класи віку										Усього
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XIII	
Сосна звичайна природного походження	–	–	5	3	6	1	1	2	1	1	20
Сосна звичайна штучного походження	6	15	2	2	1	1	–	1	–	–	28
Разом	6	15	7	5	7	2	1	3	1	1	48

Розподіл ТПП за походженням та групами віку наглядно демонструє рис. 2. Оскільки штучні лісостани сосни звичайної у Поліському ПЗ представлені молодняками та середньовіковими насадженнями, то в таких деревостанах закладено порівняно більшу кількість ТПП (26 шт.). У лісостанах природного походження тимчасові пробні площі закладені загалом рівномірно, відповідно до їх вікового діапазону.

Розподіл тимчасових пробних площ за класами бонітету (табл. 4) засвідчує, що вони в цілому коректно характеризують продуктивність лісостанів Поліського природного заповідника.

Залежно від віку і складу лісостанів, на кожній ТПП підбирали 3-15 модельних дерев (МД) за принципом пропорційно-ступінчатого представництва. Саме цей метод рекомендовано низкою вчених (Lakyda et al., 2012; Vasylyshyn et al., 2018; Lakyda et al., 2018), як оптимальний для оцінювання компонентів фітомаси лісостанів та їхньої біотичної продуктивності. Варто зауважити, що рубка більше 10 шт. модельних дерев на кожній ТПП призводить до надмірних затрат часу та коштів, які не компенсуються точністю досліджень (Лакида та ін., 2012). Для кожного модельного дерева обов'язково вказували його приналежність до певної частини деревостану – залишається воно чи вибирається під час проведення рубок догляду.

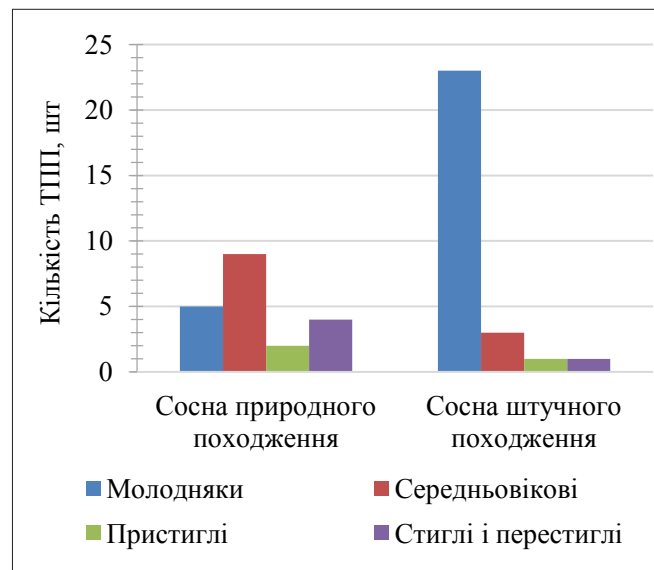


Рис. 2. Розподіл кількості ТПП за походженням і групами віку, шт.

Fig. 2. Distribution of the number of TTP by origin and age groups

Перед зрубанням для кожного модельного дерева вимірювали проекцію крони у двох взаємно перпендикулярних напрямках (Пн-Пд, Зх-Сх) та наносили позначку на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту.

Таблиця 4. Розподіл кількості ТПП за породами та класами бонітету, шт.

Table 4. Distribution of the number of TTP by species and site classes, pcs.

Деревний вид і походження	Бонітет						Усього
	I ^a	I	II	III	IV	V	
Сосна звичайна природного походження	4	5	7	2	2	–	20
Сосна звичайна штучного походження	1	5	11	7	3	1	28
Разом	5	10	18	9	5	1	48

Вік дерева визначали шляхом підрахунку кількості річних кілець на пеньку (з урахуванням вікової поправки). На зрубаному модельному дереві відокремлювалися фракції фітомаси (деревна зелень, живі гілки) і мортмаси (мертві гілки) крони, після чого ваговим методом визначали їхню масу.

Також визначали діаметр стовбура у корі, товщину кори та приріст дерев у висоту і за діаметром стовбура за останні 5-10 років на рівні пенька, на висоті грудей та на серединах секцій. Довжину секцій приймали залежно від висоти модельних дерев: 0,5 м – за середньої висоти модельних дерев на пробі до 6 м; 1 м – за висоти дерев від 6 до 12 м; 2 м – у дерев заввишки понад 12 м.

Для кожного модельного дерева визначали: 1) масу деревної зелені, живих і мертвих гілок завдовжки до 3 м ваговим методом; 2) у гілок завдовжки від 3 до 8 м вимірювали довжину, діаметр у корі та товщину кори у верхньому, нижньому торці і на середині довжини; 3) двійчатки, пасинки і гілки завдовжки понад 8 м умовно поділяли на 2-метрові секції, де вимірювали їхню загальну довжину, діаметр у корі і товщину кори в нижньому торці та на серединах секцій.

Результати перелікової таксації та обміру модельних дерев на ТПП було опрацьовано на ПК за програмою ПЕРТА, розробленою співробітниками кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України А.З. Швиденком та Я.А. Юдицьким (Лакида, 2002). Вихідними матеріалами для розрахунків програми слугували переліки дерев (за видами) та результати обмірів стовбура на серединах секцій для кожного модельного дерева. В результаті такого аналізу було отримано детальну таксаційну характеристику дослідних деревостанів, а саме: 1) середні таксаційні характеристики деревостану в цілому та окремо за деревними видами; 2) для кожного модельного дерева, залежно від його діаметра у корі ($d_{l,3}$) і висоти (h), розраховано об'єм у корі (v_{yk}), без кори та п'ять років тому; середній і поточний прирости за об'ємом, відсотки приростів за діаметром, висотою, сумою площ поперечних перерізів та об'ємом (P_v); видові числа у корі та без кори; коефіцієнти і класи форми (Гоцик, Сахарук, 2018).

Окрім параметрів стовбура, на кожному модельному дереві оцінювали параметри крони, а саме: діаметр (поперечник) крони ($d_{кр}$) та її довжину ($l_{кр}$); масу деревної зелені (ДЗ), живих і мертвих гілок.

Для отримання характеристики кількісних та якісних параметрів фітомаси дерев сосни звичайної здійснили біометричне оброблення дослідних даних за наступними прикладними програмами (Лакида, 2002):

1. PLOT (розраховували середню природну і базисну щільність деревини та кори деревного стовбура на основі дослідних даних, відібраних безпосередньо на ТПП).

2. ZRIZ, ZRIZ-K (знаходили об'ємні параметри дослідних зрізів стовбурів і гілок крон дерев: діаметр, товщину та площу поверхні зрізу, об'єм зрізу в корі та без кори, об'єм і частку кори).

3. KRON (обчислювали бічну поверхню та об'єм приросту, який займає крона дерева залежно від величини поперечників, протяжності та габітусу крони).

4. GIL (розраховували об'єм гілок крон завдовжки від 3 до 8 м у корі та без кори за простою формулою Симпсона (Ньютона-Рикке).

5. PAS (обчислювали об'єм пасинків, двійчаток і гілок у корі та без кори, довжина яких перевищує 8 м за складною формулою Симпсона).

6. FITO (розраховували масу компонентів фітомаси живої крони (деревна зелень + живі гілки) на 1 га лісостану за результатами вимірів цих показників на модельних деревах і преліком дерев за ступенями товщини на ТПП).

7. RATIO (за даними таксаційної оцінки деревостанів на ТПП та біометричної характеристики модельних дерев визначали коефіцієнти відношення основних компонентів надземної фітомаси лісостанів в абсолютно сухому стані до запасів стовбурової деревини).

Результати (Results).

У насадженнях Поліського ПЗ для дослідження процесів формування біопродуктивності деревостанів залежно від їхніх таксаційних показників закладено всього три тимчасові пробні площі. Причиною цього є те, що на природно-заповідних територіях забороняється або обмежується будь-яка діяльність, що порушує природні процеси, які відбуваються в них, відповідно до вимог, встановлених для природних заповідників (Інструктивно-методичні..., 2024). Тимчасові пробні площі закладено в соснових деревостанах, які є найбільш поширеними на території заповідника. Деревостани ТПП характеризуються такими середніми таксаційними показниками: віком – 42, 51 та 66 років; діаметром – 8,8, 8,9 та 13,3 см; висотою – 8,8, 9,0 та 15,1 м; відносною повнотою – 0,61, 0,69 та 0,68; продуктивністю – III, IV та V класи бонітету, ростуть у сухих борах (A_1).

На кожній пробній площі за описаною вище методикою відібрано модельні дерева в кількості трьох штук. Всього на ТПП зрубано та пофракційно оцінено дев'ять модельних дерев сосни звичайної. Діапазон віку МД становить від 41 до 66 років, діаметра – від 3,5 до 16,4 см, висоти – від 4,9 до 15,8 м, діаметра крони – від 1,2 до 4,8 м, довжини крони – від 2,8 до 7,7 м.

Маса деревної зелені (входить хвоя та гілки діаметром до 1 см) модельних дерев змінюється у межах від 0,9 до 26 кг. Оскільки дрібні гілки чотирьох МД увійшли до фракції деревної зелені, маса живих гілок наявна лише у п'ятих найбільших за розмірами модельних дерев. На всіх модельних деревах, окрім одного, відзначено наявність мертвих гілок, маса яких змінюється від

0,2 до 3,2 кг. Характеристики модельних дерев на тимчасових пробних площах, закладених безпосередньо у соснових лісостанах заповідника, наведені в табл. 5.

Для встановлення показників щільності деревини і кори стовбура та живих гілок крони, на пробних площах були відібрані дослідні зрізи відповідних компонентів фітомаси з трьох модельних дерев (по одному МД з кожної ТПП). Ці показники використано для оцінювання маси та об'єму цих

фракцій. Вік модельних дерев, з яких брали зразки на щільність та аналізували параметри фракції деревної зелені, становить 41, 51 та 66 років. Дослідні зрізи випилювали завтовшки 1-3 см на пні, висоті 1,3 м та на відносних висотах стовбура 0,10h, 0,25h, 0,50h та 0,75h. За результатами таксаційної обробки зрізів стовбурів модельних дерев отримані локальні (табл. 6) значення природної і базисної щільності деревини, кори, стовбура в корі у свіжозрубаному та абсолютно сухому стані.

Таблиця 5. Характеристика модельних дерев на ТПП

Table 5. Characteristics of model trees in TPP

Шифр ТПП	№ МД	Вік МД, років	Стовбур				Крона				
			$d_{l,3}$, см	h , м	$v_{ук}$, м ³	P_v , %	$d_{кр}$, м	$l_{кр}$, м	маса, кг		
									ДЗ	гілок	
										живі	мертві
201601	1	48	3,5	4,9	0,004	25,0	1,2	2,8	0,9	–	–
	2	51	8,1	9,5	0,026	26,9	2,0	5,2	5,0	–	0,4
	3	51	11,6	9,0	0,051	27,5	2,5	4,0	10,2	2,8	0,9
201602	1	41	7,4	7,5	0,018	22,2	2,7	2,7	2,1	–	0,2
	2	41	12,7	12,0	0,062	24,2	3,7	7,7	10,5	3,2	1,0
	3	42	16,4	11,1	0,114	11,4	4,8	7,1	26,0	18,9	3,2
201603	1	66	7,6	12,4	0,033	21,2	1,5	2,4	1,8	–	0,2
	2	66	12,8	14,3	0,100	15,0	3,0	6,1	10,1	6,8	1,4
	3	66	13,6	15,8	0,138	9,4	3,1	5,5	12,5	10,0	1,0

Таблиця 6. Показники локальної природної та базисної щільності модельних дерев

Table 6. Indicators of local natural and basic density of model trees

Шифр ТПП	№ МД	Деревина та кора стовбура, т·(м³) ⁻¹									
		свіжозрубана					абсолютно суха				
		відносна висота стовбура					відносна висота стовбура				
		0	0,10 <i>h</i>	0,25 <i>h</i>	0,50 <i>h</i>	0,75 <i>h</i>	0	0,10 <i>h</i>	0,25 <i>h</i>	0,50 <i>h</i>	0,75 <i>h</i>
Щільність деревини стовбурів модельних дерев											
201601	3	1,092	0,986	1,002	1,020	1,018	0,612	0,570	0,478	0,483	0,446
201602	2	0,971	0,996	0,981	1,013	0,982	0,498	0,526	0,487	0,474	0,428
201603	2	1,015	0,933	0,873	0,918	0,998	0,515	0,468	0,424	0,410	0,335
Щільність кори стовбурів модельних дерев											
201601	3	0,461	0,566	0,902	1,000	0,759	0,327	0,377	0,368	0,391	0,447
201602	2	0,514	0,559	0,960	1,288	1,386	0,345	0,358	0,432	0,456	0,523
201603	2	0,565	0,631	0,804	0,847	0,954	0,381	0,369	0,325	0,321	0,369
Щільність деревини у корі стовбурів модельних дерев											
201601	3	0,860	0,885	0,994	1,018	0,976	0,507	0,523	0,468	0,474	0,411
201602	2	0,802	0,883	0,978	1,041	1,037	0,442	0,482	0,481	0,472	0,440
201603	2	0,904	0,895	0,867	0,912	0,993	0,482	0,456	0,416	0,402	0,339

Природна щільність відображає сумарну масу абсолютно сухої речовини та нагромадженої вологи, а базисна – виражає вміст абсолютно сухої речовини в компоненті фітомаси. Останню використовують для оцінювання маси компонента дерева або деревостану в абсолютно сухому стані, що потрібно для встановлення нагромадженого в них вуглецю (Лакида та ін., 2012).

Локальна природна щільність деревини сосни звичайної на відносних висотах стовбура має значну мінливість і залежить від віку дерев (рис. 3а). За даними спостереження, найменшу щільність деревини стовбура на нульовому зрізі ($971 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) виявлено у дерева віком 41 рік, а найбільшу ($1092 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) у дерева 51-річного віку. Зі збільшенням відносної висоти стовбура та віку модельних дерев значення природної щільності деревини значно варіюють. Вони мають тенденцію як до збільшення, так і до зменшення, і стають наближе-

ними на відносній висоті $0,75h$. Для зразків, взятих з модельного дерева віком 66 років, спостережено зменшення природної щільності деревини стовбура від окоренка до відносної висоти стовбура $0,25h$, та подальше збільшення до відносної висоти $0,75h$. На значну мінливість природної локальної щільності деревини стовбура, крім віку та висоти дерев, значно впливає також вміст нагромадженої вологи у деревині.

Базисна локальна щільність не містить вологи у деревині, вона стійкіша і характеризується значно меншою мінливістю вздовж стовбура (рис. 3б). Найвищі показники базисної щільності деревини спостережено в окоренковій частині стовбура, які поступово спадають до його верхівки. Залежність як природної, так і базисної щільності деревини від віку дерев підтверджується навіть у випадку малої вибірки. Зі збільшенням віку дерев базисна щільність деревини стовбура зменшується.

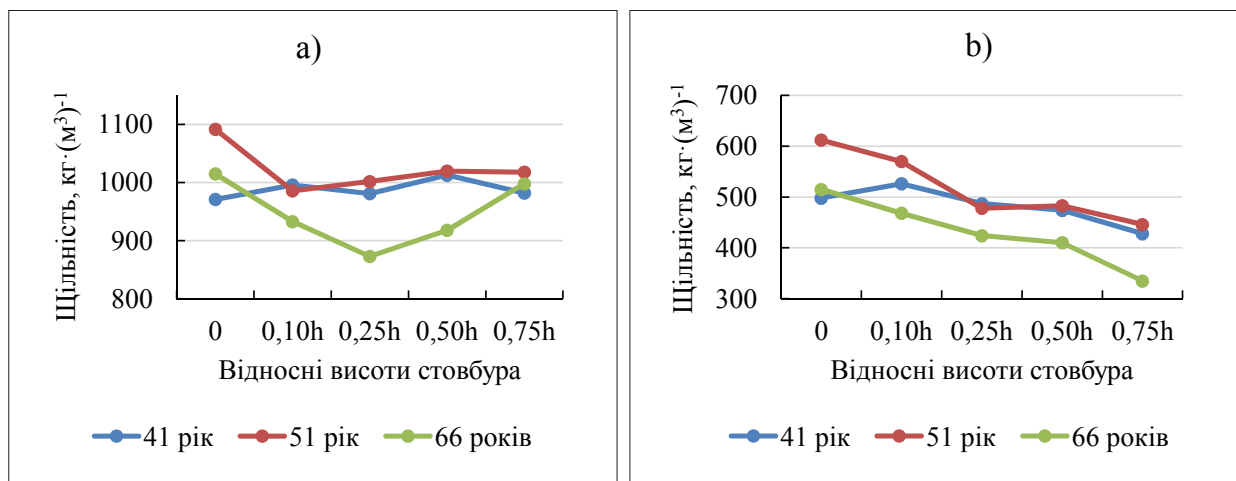


Рис. 3. Зміна локальної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної: а) природна; б) базисна

Fig. 3. Change in local wood density of Scots pine model trees: a) natural; b) baseline

Локальна природна щільність кори стовбурів сосни звичайної, аналогічно до деревини, теж характеризується мінливістю значень на відносних висотах й залежить від віку дерев. Найменші показники природної щільності кори ($461\text{-}565 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) виявлено в окоренковій частині стовбура, але вони мають характер стрімкого зростання з висотою ($1386 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ на висоті $0,75h$). У цьому випадку різниця між мінімальним та максимальним значенням природної щільності кори становить 66,7%. Зі збільшенням віку дерев значення природної щільності кори стовбурів на відносних висотах (починаючи від $0,25h$) мають тенденцію до зменшення.

Мінливість базисної локальної щільності кори стовбурів сосни звичайної, аналогічно до природної, незалежно від віку дерев, є незначною від окоренка стовбура до $0,1h$. Зі збільшенням висоти показники базисної щільності кори характеризуються зростаючим типом, характер якого залежить від віку дерев. Найнижчі показники базисної щіль-

ності кори стовбура на проміжку від $0,25h$ до $0,75h$ спостережено у модельного дерева віком 66 років, а найвищі – у модельного дерева 41-річного віку.

Отримані результати підтверджують мінливість щільності компонентів фітомаси в межах стовбура та її неоднаковість за його довжиною. Базисна щільність деревини стовбура сосни звичайної зменшується від комлевої частини до вершини стовбура (Лакида, 2002; Repola, 2006).

Зважаючи на мінливість локальної щільності, важливою характеристикою якості деревного стовбура є його середня щільність. У цьому дослідженні середня щільність деревини і кори стовбурів сосни звичайної розглядається як один із важливих показників під час вивчення біопродуктивності лісів Поліського ПЗ. Дані про базисну щільність використовують для розрахунку біомаси лісів та кількості депонованого в них вуглецю, що є важливим аспектом у контексті глобальної зміни клімату. Обчислені (на основі локальних даних за

допомогою прикладної програми PLOT) результати середньої природної та базисної щільності деревини, кори і деревини у корі стовбурів модельних дерев сосни представлені в табл. 7.

Середня щільність фракцій стовбура сосни звичайної (деревини, кори, деревини в корі) у свіжозрубаному та абсолютно сухому станах залежить від віку модельних дерев, але характеризується значно меншою мінливістю. Відмінність щільності фракцій стовбура МД у свіжозрубаному стані від обчисленого середнього значення щільності деревини $977 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ становить відповідно 0,6, 4,7 та -5,4%; кори – $604 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 2,6, -11,8 та 9,1%; деревини в корі – $935 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 0,9, 2,9 та -3,8%. Відмінність в абсолютно сухому стані від загального середнього значення щільності деревини

($467 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) становить, відповідно, 3,1, 6,3 та -9,4%; кори – $353 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 3,4, -6,8 та 3,4%; деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 3,4, 4,3 та -7,7%.

Більш сталою величиною є середня щільність фракцій стовбура сосни звичайної в абсолютно сухому стані. Її значення, за даними спостережень, варіюють у межах $\pm 10\%$. Знаючи середню щільність фракцій стовбура та їхній об'єм, можна обчислити кількість сухої речовини в них.

Для визначення щільності деревини й кори живих гілок на модельних деревах було відібрано дев'ять зрізів різної довжини і товщини із середньої частини довжини гілок (по три зрізи з кожного МД). Щільність деревини та кори гілок у свіжозрубаному та абсолютно сухому стані наведено в табл. 8.

Таблиця 7. Середня щільність фракцій фітомаси стовбурів модельних дерев

Table 7. Average density of phytomass fractions of model tree trunks

Шифр ТПП	№ МД	Щільність, $\text{т} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$					
		свіжозрубаний стан			абсолютно сухий стан		
		деревина	кора	деревина + кора	деревина	кора	деревина + кора
201601	3	1,023	0,533	0,962	0,496	0,329	0,469
201602	2	0,983	0,620	0,944	0,481	0,365	0,465
201603	2	0,924	0,659	0,900	0,423	0,365	0,415

Таблиця 8. Щільність фракцій фітомаси гілок крони модельних дерев

Table 8. Density of phytomass fractions of crown branches of model trees

Шифр ТПП	№ МД	№ МГ	Щільність, $\text{т} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$					
			природна			базисна		
			деревина	кора	деревина + кора	деревина	кора	деревина + кора
201601	3	1	0,992	1,813	1,087	0,451	0,813	0,493
		2	1,190	0,772	1,060	0,587	0,333	0,508
		3	1,191	0,897	1,132	0,626	0,379	0,576
201602	2	1	0,936	0,963	0,941	0,496	0,481	0,493
		2	0,938	1,231	0,997	0,445	0,523	0,461
		3	0,968	0,938	0,964	0,491	0,484	0,490
201603	2	1	0,925	1,684	1,071	0,375	0,632	0,424
		2	1,000	0,958	0,992	0,437	0,396	0,430
		3	0,874	1,000	0,892	0,396	0,441	0,402

Природна щільність деревини, кори і деревини в корі гілок сосни звичайної навіть у дерев однакового віку значно коливається за своїми значеннями: деревини – від 874 до $1191 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; кори – від 772 до $1813 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; деревини в корі – від 892 до $1132 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Менш мінливою є базисна щільність компонентів гілок, оскільки під час її визначення

не враховується волога, яка міститься у гілках на момент зрізу.

Значення базисної щільності змінюються для деревини гілок – від 375 до $626 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; кори – від 333 до $813 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; деревини в корі – від 402 до $576 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Розраховане середньозважене значення базисної щільності деревини гілок становить

478 кг·(м³)⁻¹; кори – 497 кг·(м³)⁻¹; деревини в корі – 475 кг·(м³)⁻¹.

Для встановлення частки хвої у загальній фітомасі деревної зелені дерев сосни звичайної проаналізовано 30 модельних гілок, дев'ять наважок свіжої хвої та дев'ять наважок хвої, висушеної до абсолютно сухого стану. Таксаційні показники цих модельних дерев, частка хвої у деревній зелені (P_l) та частка вмісту абсолютно сухої речовини в хвої (S_l) наведено в табл. 9.

Таблиця 9. Вміст хвої у деревній зелені та вміст абсолютно сухої речовини в хвої модельних дерев

Table 9. Needle content in tree foliage and oven-dry matter content in needles of model trees

Шифр ТПП	Номер МД	Параметри модельних дерев				
		a , років	$d_{1,3}$, см	h , м	P_l , %	S_l
201601	3	51	11,6	9,0	58,2	0,46
201602	2	41	12,7	12,0	64,0	0,43
201603	2	66	12,8	14,3	62,9	0,43

Частку хвої у фракції деревної зелені визначали за результатами зважувань вкритих хвоєю модельних гілок у свіжозрубаному стані та після відокремлення хвої у безлистих пагонів. Спостережено мінливість частки хвої для окремих модельних

дерев – від 58,2 до 64%. Причиною цього є те, що на частку хвої у деревній зелені впливає вік і загальний стан дерева, висота прикріплення гілок, а також індивідуальні морфологічні особливості його асиміляційного апарату.

Вміст абсолютно сухої речовини обчислювали як відношення маси зразка в абсолютно сухому до маси у свіжозрубаному стані. За отриманими результатами спостережено незначну мінливість цього показника – від 0,43 до 0,46. Це зумовлено тим, що модельні дерева, з яких брали зразки хвої, росли в подібних за вологістю та родючістю лісорослинних умовах (сухих борах). Крім умов росту, на вміст абсолютно сухої речовини можуть впливати вік хвої, санітарний стан дерева та хвої, індивідуальні особливості дерев.

Дискусія (Discussion).

В умовах зовнішніх антропогенних і техногенних впливів, особливо в період глобальної зміни клімату, ліси слугують одним із основних наземних компонентів стабілізації довкілля та збереження життя на планеті. В цьому напрямі особливу увагу приділяють об'єктам природно-заповідного фонду, які певною мірою слугують маркерними об'єктами, на основі яких можна наочно прослідкувати вплив основних екологічних функцій лісів (вуглецедепонування, киснепродукування) на довкілля.

Отримані показники локальної природної та базисної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної Поліського ПЗ порівнювали з результатами локальної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної Байрачного Степу України (Ловинська, 2021) (рис. 4).

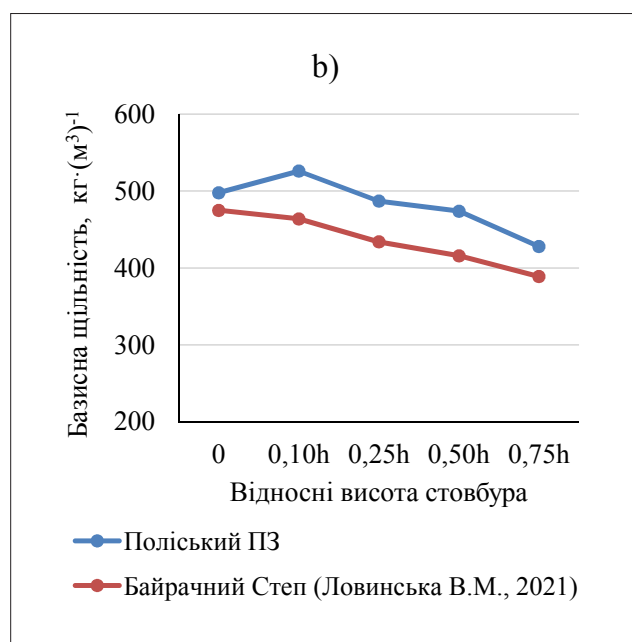
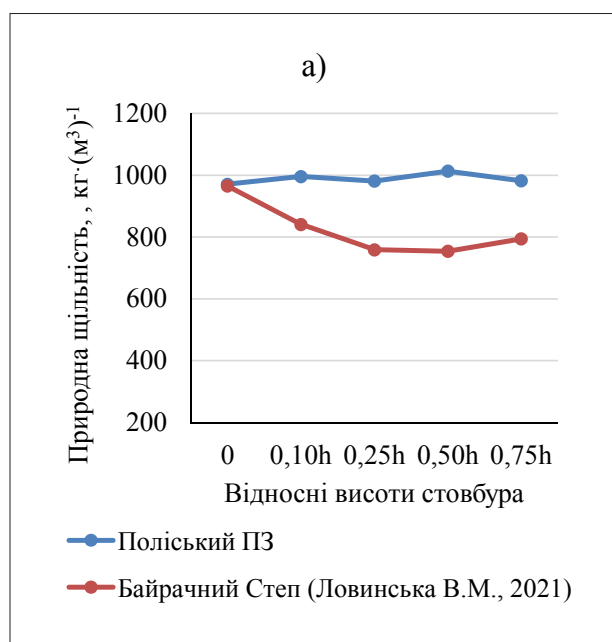


Рис. 4. Порівняння локальної природної (а) та базисної (б) щільності деревини стовбурів сосни звичайної

Fig. 4. Comparison of local natural (a) and baseline (b) wood density of Scots pine tree trunks

З'ясовано, що на всіх локальних точках відносних висот стовбура показники щільності деревини сосни Поліського ПЗ виявилися вищими, ніж аналогічні показники локальної щільності деревини сосни звичайної, що росте в умовах Степу. Натомість показники середньої природної щільності деревини на нульовому зрізі виявилися доволі близькими. Причинами відмінності між показниками є умови місцезростання дослідних деревостанів, які визначаються їхньою приналежністю до різних природних зон. Зазначені зони значно відрізняються природно-кліматичними умовами, зокрема показниками вологості (Генсірук, 2002).

Однією із основних характеристик деревостанів, що впливає на обсяги депонування вуглецю, є базисна щільність основних компонентів фітомаси: деревини та кори стовбура, гілок і коренів (Sytynuk et al., 2018). Для стовбурів дерев сосни зви-

чайної Поліського ПЗ встановлено, що середня базисна щільність деревини становить $467 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$, кори – $353 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ і для деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

Значення середньої базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної порівнювали із результатами подібних досліджень, проведених у різних регіонах і лісорослинних умовах та різних за походженням і віком дерев (рис. 5): самосійні ліси Українського Полісся (Блищик, 2022), соснові ліси НПП «Голосіївський» (Лакида, Дубровець, 2020), соснові ліси Лісостепової Придніпровської височини (Ковалевський, 2016), штучні соснові деревостани Черкаського бору (Лакида, Шамрай, 2013) та соснові ліси Полісся України за нормативно-довідковими матеріалами (Лакида та ін., 2011; Нормативно-інформаційне..., 2018).

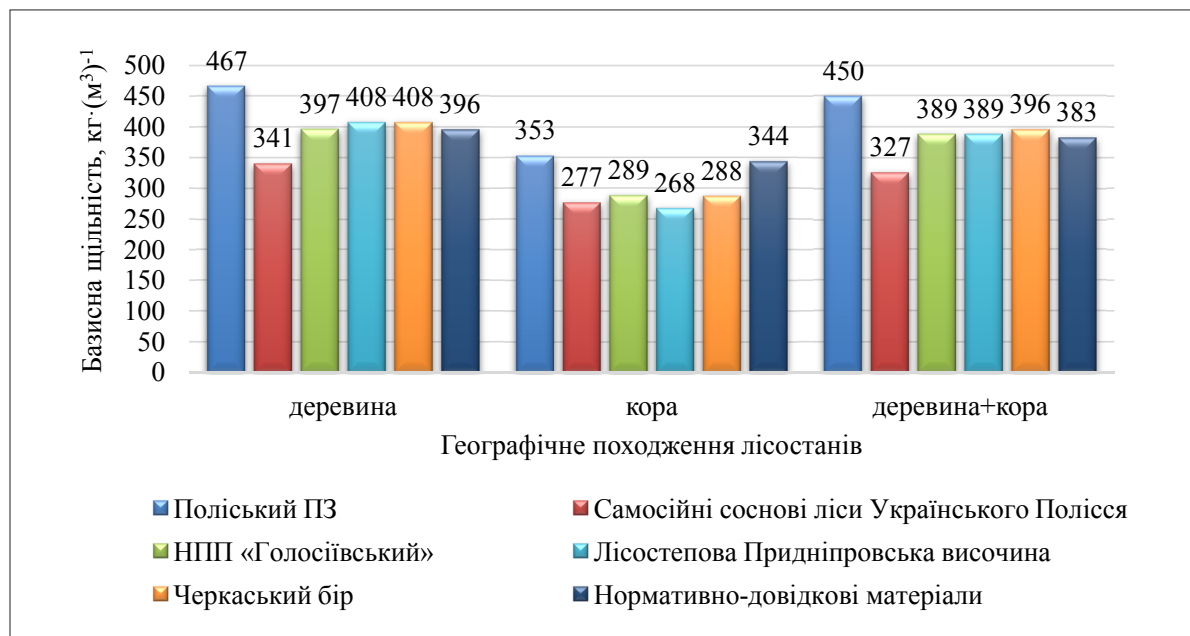


Рис. 5. Середня базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної різного географічного походження

Fig. 5. The average basic density of phytomass components of Scots pine tree stems of different provenance

Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі стовбурів дерев сосни звичайної у лісостанах Поліського ПЗ, за нашими даними, виявилась значно вищою, порівняно із показниками базисної щільності компонентів фітомаси, отриманих в Україні іншими авторами, але на різних за характеристиками об'єктах.

Загалом, отримані показники базисної щільності компонентів фітомаси дерев пояснюються особливостями росту сосни звичайної в умовах Поліського природного заповідника та унікальністю досліджуваного об'єкта.

Отримані дослідні дані характеризують таксаційні параметри деревостанів та біотичну структуру компонентів фітомаси дерев соснових лісів Поліського ПЗ, що дає змогу побудувати достовірні

моделі оцінювання компонентів біотичної продуктивності та екологічних функцій лісових екосистем досліджуваного заповідного об'єкта.

Таким чином, інформаційне забезпечення відіграє ключову роль у моделюванні біопродуктивності лісів. На його основі ґрунтується фундамент для точності статистичного оцінювання, динамічного прогнозування, розробки стратегій адаптації лісів до глобальних змін клімату.

Висновки (Conclusions).

1. Для збору та аналізу різнорідних даних доцільно застосовувати комплексний підхід. Безпосередньо від повноти, точності та актуальності зібраних даних залежить якість моделей, які дають змогу оцінити динаміку нагромадження фітомаси, депонування вуглецю та загальний екологічний по-

тенціал лісових екосистем Поліського природного заповідника.

2. Лісова рослинність посідає 84,3% площі Поліського природного заповідника, де домінуючу роль у формуванні лісового намету відіграють деревостани сосни звичайної природного та штучного походження (88,5% від загального запасу лісового фонду).

3. Локальна щільність деревини та кори стовбурів сосни звичайної не є сталим показником і має різний характер мінливості вздовж стовбура. Як природна, так і базисна локальна щільність деревини та кори залежить від віку дерев, що підтверджується навіть за малої вибірки. Зі збільшенням віку дерев базисна локальна щільність деревини та кори стовбура зменшуються. Зі збільшенням висоти стовбура показники базисної щільності деревини характеризуються спадним, а кори – зростаючим типом, характер якого залежить від віку дерев.

4. Значно меншою мінливістю фракцій стовбура та гілок сосни звичайної, порівняно з базисною, характеризується середня щільність. Більш сталою величиною є середня щільність в абсолютно сухому стані. Її значення для фракцій стовбура сосни варіюють у межах $\pm 10\%$, середнє значення щільності деревини становить 467; кори – 353; деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Середньозважене значення базисної щільності деревини гілок становить 478; кори – 497; деревини в корі – $475 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

5. Встановлено мінливість частки хвої у межах окремих модельних дерев сосни звичайної – від 58,2 до 64%. Ця відмінність частково пояснюється взяттям модельних гілок з різних частин крони, куди могла потрапити хвоя різного віку, а також індивідуальними морфологічними особливостями асиміляційного апарату дерев. Незначна мінливість вмісту абсолютно сухої речовини у хвої (від 0,43 до 0,46) зумовлена тим, що модельні дерева, з яких брали зразки, росли в однакових за вологістю та родючістю лісорослинних умовах (сухих борах).

6. На всіх відносних висотах стовбура показники щільності деревини сосни звичайної Поліського ПЗ виявилися вищими, ніж аналогічні показники локальної щільності деревини сосни, що росте в умовах Байрачного Степу. Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі стовбурів дерев сосни за даними дослідження виявилась значно вищою, порівняно із показниками, отриманими в Україні іншими авторами, але на різних за характеристиками об'єктах.

7. Для точного моделювання біопродуктивності лісів Поліського ПЗ необхідний комплексний підхід до збору, оброблення та аналізу дослідних даних, створення бази даних, що включає результати наземних досліджень. Інформаційне забезпечення є незамінним інструментом у розумінні та прогнозуванні біопродуктивності лісів в умовах зміни клімату.

8. Отримані експериментальні дані дають можливість розв'язати низку завдань, зокрема, розробити адекватні математичні моделі загальних обся-

гів фітомаси досліджуваних деревостанів за основними фракціями та на їх основі оцінити виконання ними екологічних функцій – депонування вуглецю й продукування кисню.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Besnard, S., Santoro, M., Cartus, O., Fan, N., Linscheid, N., Nair, R., ... Carvalhais, N. (2021). Global sensitivities of forest carbon changes to environmental conditions. *Global Change Biology*, 27(24), 6467-6483. <https://doi.org/10.1111/gcb.15877>
- Bilous, A.M., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V., Svinchuk, V.A., & Lesnik, O.M. (2021). *Forest inventory handbook*. Kyiv: "Vinichenko" Publishing House [Білоус, А.М., Кашпор, С.М., Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., Леснік, О.М. (2021). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко»] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, V.I. (2022). The average density of the main live biomass components of Scots pine tree stems in naturally regrown forests of Ukrainian Polissia. In *Forestry, woodworking and greening: state, achievements and prospects: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 38-40. Kharkiv, November 22-23. Kharkiv: State Biotechnology University. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/19251> [Блищик, В.І. (2022). Середня щільність основних компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної у самосійних лісах Українського Полісся. *Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи* : матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. з проблем вищої освіти і науки в системі МОН України, м. Харків, 22-23 листопада 2022 р. Харків: Державний біотехнологічний університет, 38-40] (in Ukrainian)
- Buksha, I.F., & Pasternak, V.P. (2005). *Inventory and monitoring of greenhouse gases in forestry*. Kharkiv: Kharkiv National Agrarian University. [Букша, І.Ф., Пастернак, В.П. (2005). *Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві*. Харків: ХНАУ. 264 с.] (in Ukrainian)
- Buksha, I.F., Shvidenko, A.Z., Bondaruk, M.A., Tselyshev, O.G., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., Pasternak, V., & S.V. Krakovska (2017). The methodology of modelling of the impact of climate change on forest phytocenoses in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 266, 26-38. Retrieved from <https://forestscience.com.ua/uk/journals/266-2017/myetodologiya-modyelyuvannya-ta-otsynyuvannya-vplyvu-zmini-klimatu-na-lisovi-fitotsyenozi-ukrayini>
- Dubrovets, B.V., & Lakyda, P.I. (2017). The models of conversion coefficients of tree stands phytomas's components of National natural park "Holosiiivskyi". *Ukrainian Journal of Forest and Wood*

- Science*, (278), 48-57. Retrieved from <https://forest-science.com.ua/uk/journals/278-2017/modyeli-konvyersiynikh-koyefitsiyentiv-komponyentiv-fitomasydyeryevostaniv-npp-golosiyivskiy> [Дубровець, Б.В., Лакида, П.І. (2017). Моделі конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси деревостанів НПП «Голосіївський». *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво»*, 278, 48-57] (in Ukrainian)
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Gensiruk, S.A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Publishing House of the Shevchenko Scientific Society [Генсірук, С.А. (2002). *Ліси України*. Львів : Вид-во Наукового товариства ім. Шевченка] (in Ukrainian)
- Hotsyk, O. S., Lakyda, P. I., & Sakharuk, H. A. (2021). Experimental studies of the bioproductivity of forests of the Polissya Nature Reserve. *Aspects of sustainable development of forestry, agriculture, water and energy economies of the Polissya zone of Ukraine: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 42-43. Zhytomyr, April 8, 2021. Zhytomyr: Zhytomyr Agrotechnical College. Retrieved from https://zhatk.zt.ua/wp-content/uploads/2021/05/zbirnik-2021_final_compressed.pdf [Гоцик, О.С., Лакида, П.І., Сахарук, Г.А. (2021). Експериментальні дослідження біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника. *Аспекти сталого розвитку лісового, сільського, водного та енергетичного господарств зони Полісся України*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Житомир, 8 квітня 2021 р. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 42-43] (in Ukrainian)
- Hotsyk, O. S., & Sakharuk, H. A. (2018). Experimental database for the study of the bioproductivity of forests of the Polissya Nature Reserve. *Problems of the development of forest taxation, forest management and forest inventory: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 52-54. Kyiv, December 6-8, 2018. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u32/zbirnik_tez_mizhnarodnoyi_konferenciyi_nikitina_k.ie_6-7.12.18r.pdf [Гоцик, О.С., Сахарук, Г.А. (2018). Експериментальна база даних дослідження біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника. *Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів*: матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., м. Київ, 6-8 грудня 2018 р. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 52-54] (in Ukrainian)
- Hryshchenko, I. M., Grigorenko, O. M., & Boryseiko, V. O. (2001). *Fundamentals of scientific research*. Kyiv: National University of Trade and Economics [Грищенко, І.М., Григоренко, О.М., Борисейко, В.О. (2001). *Основи наукових досліджень*. Київ: Національний торгово-економічний ун-т] (in Ukrainian)
- Instructive and methodological guidelines for the implementation of forest inventory* (2024). Approved by order of the Ukrainian State Project Forest Management Production Association dated September 6, 2024 No. 76. Irpin. Retrieved from https://lisproekt.gov.ua/fileadmin/user_upload/Instruktivno-metodichni_vkazivki-druk.pdf [Інструктивно-методичні вказівки щодо здійснення лісовпорядкування] (2024). Затверджено наказом Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання від 06 вересня 2024 р. №76. Ірпін] (in Ukrainian)
- Jinyu Zhao, Xiao Fu, Na Sa, Xuyang Kou, Xiaojia He, Shuanning Zheng, Zhaohua Lu, Gang Wu, & Weiguo Sang (2025). Forest eco-function restoration and its positive effects on biodiversity improvement in China's ecological conservation programs. *Ecological Engineering*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107530>
- Kovalevsky, S. S. (2016). *Bioproductivity of forests of the Forest-Steppe Pridneprovskaya Upland under conditions of technogenic load on the environment*: Abstract doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe? [Ковалевський, С.С. (2016). *Біопродуктивність лісів Лісостепової Придніпровської височини в умовах техногенного навантаження на довкілля*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I. (2002). *Phytomasa of the forests of Ukraine*. Ternopil: Zbruch [Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч. 262 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I., Bilous, A. M., Vasylyshyn, R. D., Matushkevych, L. M., & Makarchuk, Ya. I. (2012). *Bioproductivity and energy potential of softwood stands of Ukrainian Polissya*. Korsun-Shevchenkivskiy: Publishing House of V. M. Gavryshchenko. ISBN 978-966-2464-24-5 [Лакида, П.І., Білоус, А.М., Василюшин, Р.Д., Матушевич, Л.М., Макачук, Я.І. (2012). *Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся*. Корсунь-Шевченківський: вид-во Гаврищенко В.М. 453 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P., & Blyshchik, V. (2024). Productivity and ecological functions of self-seeding pine forests of Ukrainian Polissya. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 129-138. <https://doi.org/10.15421/412420> [Лакида, П., Блищик, В. (2024). Продуктивність та екологічні функції самосійних соснових лісів Українського Полісся. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 129-138] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I., & Dubrovets, B. V. (2020). *Forests of the National Nature Park "Hoholivskyi": bioproductivity*

- activity and ecological functions. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [Лакида, П.І., Дубровець, Б.В. (2020). *Ліси Національного природного парку «Голосіївський»: біопродуктивність та екологічні функції*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.С. 168 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Kovalska, S.S., & Bilous, A.M. (2019). *Biomass of artificial pine forests of the Southern Dnieper Polissya: state and dynamics*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I.V. [Лакида, П.І., Ковальська, С.С., Білоус, А.М. (2019). *Біомаса штучних сосняків Південного Придніпровського Полісся: стан та динаміка*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.В. 184 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Shamrai, A.E. (2013). Above-ground biomass and deposited carbon of Scots pine trees in artificial stands of Cherkasy Bir. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(1), 8-13. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_1/index.htm [Лакида, П.І., Шамрай, А.Є. (2013). Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах Черкаського бору. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 23(1), 8-13] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Blyshchyk, V.I., Lakyda, I.P., Terentiev, A. Eu., Domashovets, H.S., ... Stratii, N.V. (2018). *Experimental data on live biomass of Ukrainian coniferous forests*. Kyiv: "PC Comprint" LLC.
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Lashchenko, A.G., & Terentyev, A.Yu. (2011). *Standards for the assessment of aboveground phytomass components of trees of the main forest-forming species of Ukraine*. Kyiv: Publishing house "EKO-inform". Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe? [Лакида, П.І., Василишин, Р.Д., Лашченко, А.Г., Терентьев, А.Ю. (2011). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України*. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ». 192 с.] (in Ukrainian)
- Lorinus, C., & Oeschger, H. (1994). Climate change. Paleoperspectives: reducing uncertainties in global change? *Ambio*, 23(1).
- Lovynska, V.M. (2021). *Bioproductivity of pine plantations of the Bayrach Steppe of Ukraine*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maidanchenko I.S. [Ловинська, В.М. (2021). *Біопродуктивність соснових лісостанів Байрачного Степу України*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майданченко І.С. 164 с.] (in Ukrainian)
- Matushevych, L.M. (2023). *Primary production of tree stands of Eastern Polissya of Ukraine: monograph*. Kyiv: "CP "KOMPRINT". Retrieved from: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/10654> ISBN 978-617-8282-73-8 [Матушевич, Л.М. (2023). *Первинна продукція деревостанів Східного Полісся України*. Київ: «ЦП "КОМПРИНТ"». 582 с.] (in Ukrainian)
- Matushevych, L., & Lakyda, P. (2021). Modeling the primary production of components of the above-ground part of Scots pine trees in Eastern Polissya, Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 141-155. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/652> [Матушевич, Л., Лакида, П. (2021). Моделювання первинної продукції компонентів надземної частини дерев сосни звичайної Східного Полісся України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 141-155] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., & Nikitiuk, Yu.A. (2019). Carbon sequestration capacity of pine forest plantations in the Kyiv Polissya. *Plant Protection and Quarantine*, 65, 143-148. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.133-148> [Мороз, В.В., Никитюк, Ю.А. (2019). Вуглецепоглиняльна здатність соснових лісових насаджень Київського Полісся. *Захист і карантин рослин*, 65, 133-148] (in Ukrainian)
- Nilsson, S., Sallnaes, O., & Duinker, P. (1992). *Future Forest Resources of Western and Eastern Europe*. Lancaster: The Parthenon Publishing Group. Retrieved from <https://pure.iiasa.ac.at/3589>
- Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: the V.V. Dokuchaev Kharkiv State Agrarian University. [Остапенко, Б.Ф., Ткач, В.П. (2002). *Лісова типологія*. Харків: Харківський державний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. 344 с.] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P., & Buksha, I.F. (2004). Methodological approaches to monitoring carbon dynamics in forest ecosystems. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 14(2), 177-180. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_2/index14_2.htm [Пастернак, В.П., Букша, І.Ф. (2004). Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю у лісових екосистемах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 14(2), 177-180] (in Ukrainian)
- Phua, M.-H., & Satio, H. (2003). Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(4), 429-440. <https://doi.org/10.5589/m03-005>
- Pilli, R., Alkama, R., Cescatti, A., Kurz, W.A., & Grassi, G. (2022). The European forest carbon budget under future climate conditions and current management practices. *Biogeosciences*, 19(13), 3263-3284. <https://doi.org/10.5194/bg-19-3263-2022>
- Repola, J. (2006). Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density. *Silva Fennica*, 40(4), article id 322. <https://doi.org/10.14214/sf.322>
- Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, P., & Maslikova, K. (2018). Basic density and crown parameters of forest forming species within Steppe zone in Ukraine. *Folia Oecologica*, 45, 82-91. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0009>
- Treml, V., Mašek, J., Tumajer, J., Rydval, M., Čada, V., Ledvinka, O., & Svoboda, M. (2021). Trends in

climatically driven extreme growth reductions of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Central Europe. *Global Change Biology*, 28(2), 557-570. <https://doi.org/10.1111/gcb.15922>

Vasylyshyn, R. D., Domashovets, H. S., Terentiev, A. Eu., Slyusarchuk, V. V., Vasylyshyn, O. M., Shevchuk, O. V., & Lakhovych, Y. G. (2018). *Normative and informational support for the tax assessment of the energy intensity of phytomass components of tree stands and energy productivity of forest plantations of Ukrainian Polissya. Scientific and methodological recommendations*. Kyiv: OOO "CP Komprint" [Василишин, Р. Д., Домашовець, Г. С., Терент'єв, А. Ю., Слюсарчук, В. В., Василишин, О. М., Шевчук, О. В., Лахович, Ю. Г. (2018). *Нормативно-інформаційне забезпечення для таксаційної оцінки енергоємності компонентів фітомаси деревостанів та енергопродуктивності лісових лісостанів Українського Полісся. Науково-методичні рекомендації*. Київ: ТОВ «ЦП Компрінт»] (in Ukrainian)

Vasylyshyn, R., & Yurchuk, Yu. (2021). Bioproductivity of forests in Zhytomyr region. *Achievements of Ukraine and the eu in environment, biology, chemistry, geography and agricultural sciences*, 64-82. Publishing House "Baltija Publishing". <http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-4> [Василишин, Р., Юрчук, Ю. (2021). Біопродуктивність лісів Житомирської області. *Досягнення України та ЄС в екології, біології, хімії, географії та сільськогосподарських науках* (с. 64-82) Видавництво: Балтія] (in Ukrainian)

Information support for modelling bioproductivity of forests of the Polissia Nature Reserve

P. Lakyda¹, L. Matushevych², O. Hotsyk³, H. Sakharuk⁴

Assessment of the ecological functions of forests in the context of global climate change as a tool for combating these processes is an urgent and relevant problem of humanity. Particular attention is paid to nature reserves, which are certain markers of the reaction of forest ecosystems to these changes.

An important stage in the process of studying forest bioproductivity is the collection, aggregation and processing of research data that would reflect the main measurement indicators and the most typical growth conditions of stands of the main forest-forming species. For this purpose, data from 48 temporal test plots (TTP) established in pine stands of the studied object by scientists of the Department of Forest Mensuration and Forest Management of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, were used to assess the biotic productivity of stands and model the main ecological functions of forests

of the Polissia Nature Reserve. 20 TTPs were established in stands of natural origin, 28 TTPs were established in artificial ones. In this case, the methodology of collecting research material by P. Lakyda was used, which involves two types of research work: field forest assessment and laboratory. The established temporary test plots adequately describe the current state of the forests of the studied object.

All the test plots were selected and established in accordance with silvicultural and forest mensuration requirements in the prevailing pine and subpine types of forest growth conditions (from A₁ to B₅), with productivity of classes I^a-V in the age range from 11 to 125 years and relative density ranging from 0.34 to 1.20.

The assessment of phytomass parameters was carried out based on the results of processing the parameters of the trunk and crown of 9 model trees selected on temporary test plots established in the pine stands of the reserve. Local and average values of the natural and basic density of wood, bark and trunk in bark, as well as crown branches in a freshly cut and oven-dry state were obtained. Based on the results of laboratory studies, the percentage of needles in tree foliage and the proportion of oven-dry state needles were calculated.

The collected experimental data make it possible to solve a number of tasks set within the framework of the work being performed, namely: to develop adequate mathematical models for estimating the total volume of phytomass of the studied stands by main fractions and their performance of the ecological functions of carbon deposition and oxygen generation in the stands of this reserve.

Key words: temporary test plots; forest stand; forest-mensuration indicators; model trees; trunk; branches; wood; bark; density; needles.

¹ Petro Lakyda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, First Vice-President of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the scientific support sector at the State Enterprise "Forests of Ukraine", 6 Bolsunovska st., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: petro.lakyda@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Lubov Matushevych – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: matushevych@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-3215>

³ Oleksandr Hotsyk – Candidate of PhD degree seeker, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: gotsyk.o@icloud.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5680-4945>

⁴ Halyna Sakharuk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: gsakharuk68@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2561-1385>