

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**БІЛОУС АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 630\*17/.18(477.41/.42)

**БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕКОСИСТЕМНІ ФУНКЦІЇ М'ЯКОЛИСТЯНИХ  
ЛІСІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**

06.03.02 – лісовпорядкування та лісова таксація  
06.03.03 – лісознавство і лісівництво

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора сільськогосподарських наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Лакида Петро Іванович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
директор Навчально-наукового інституту лісового  
і садово-паркового господарства

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Пастернак Володимир Петрович**,  
Український ордена «Знак Пошани» науково-  
дослідний інститут лісового господарства  
та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького,  
провідний науковий співробітник лабораторії  
моніторингу і сертифікації лісів

доктор сільськогосподарських наук, доцент  
**Гриник Георгій Георгійович**,  
Національний лісотехнічний університет України,  
доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування

доктор сільськогосподарських наук,  
старший науковий співробітник  
**Шпарик Юрій Степанович**,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Прикарпатський національний університет  
імені Василя Стефаника»,  
заступник директора Інституту природничих наук

Захист відбудеться «20» травня 2016 року о 9<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.09 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «19» квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Беручи до уваги необхідність спостереження за змінами в екосистемах і зв'язок трансформаційних процесів із господарською діяльністю людини, під егідою Організації Об'єднаних Націй (ООН), Європейської Комісії та інших організацій розроблено Систему еколого-економічного обліку як багатоцільову концептуальну основу для розуміння взаємодії між економікою та навколишнім середовищем, а також для вимірювання і оцінювання екологічних активів. Упровадження цього міжнародного статистичного стандарту є практичним результатом безперервних обговорень проблем оцінювання та вимірювання концепцій сталого розвитку після Конференції ООН в Ріо-де-Жанейро в 1992 році (SEEA, 2012) та передумовою для створення комплексу нормативно-інформаційних ресурсів для різних галузей економіки, у тому числі для лісового господарства (Швиденко А. З., 2012).

Реалізація основних положень Конференції ООН зі змін клімату в Парижі 2015 року потребує глобальних зусиль для забезпечення балансу між процесами емісії парникових газів та їх поглинання (FCCC, 2015). Досягнення чисто нульових викидів, орієнтація провідних країн світу на використання відновних природних ресурсів і необхідність підтримки біорізноманіття актуалізує напрями наукових досліджень, спрямованих на забезпечення сталого розвитку природокористування, в тому числі раціонального використання лісових ресурсів. Охорона природи і захист навколишнього середовища стала такою ж важливою глобальною проблемою, як проблема миру, народонаселення та голоду (Щепашенко Д. Г. и др., 2008).

Складність вирішення глобальних екологічних та ресурсно-енергетичних проблем потребує інтеграції наукового потенціалу вчених усіх країн світу, різної наукової спеціалізації. Одержання нових знань про значення лісів у глобальних та регіональних процесах кругообігу речовин (Погребняк П. С., 1972; Уткин А. И., 1995; Замолодчиков Д. Г. и др., 1999; Букша І. Ф., 2002; Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г., 2011; Мухартова Л. В., Ведрова Э. Ф., 2012) та енергії (Дідух Я. П., 2007; Васишин Р. Д., 2014) потребує створення фундаментальних теоретико-методологічних засад проведення комплексних досліджень і розроблення нормативно-інформаційного забезпечення для прикладного системного аналізу.

Фактично сучасне лісогосподарське виробництво в Україні має домінуючу ресурсну орієнтацію, а перехід на екологічно збалансоване лісове господарство потребує розроблення і впровадження сучасної екологічної й лісової політики (Синякевич І. М., 2007; Швиденко А. З. та ін., 2014) та системи науково обґрунтованого нормативно-інформаційного забезпечення обліку лісосировинних ресурсів (Каганяк Ю. Й., 2008; Гірс О. А., 2011; Багинский В. Ф., 2013), дослідження біопродуктивності лісів (Лакида П. І., 2002; Усольцев В. А., 2007; Миклуш С. І., 2011; Пастернак В. П., 2011; Гриник Г. Г., 2013; Васишин Р. Д., 2014) та екосистемних функцій і послуг лісів (Groot R. et al., 2002; Bond I. et al., 2009; Шпарик Ю. С., 2013; Näyhä T. et al., 2015).

Проблемі забезпечення нормативно-довідковими матеріалами для вирощування й таксації м'яколистяних лісів завжди недостатньо приділялося уваги, тому тепер виникла потреба в розробленні комплексних нормативів з екологізації

лісового господарства (Лакида П. І. та ін., 2011). Нині в Українському Поліссі відбувається неконтрольоване збільшення площі м'яколистяних лісів за наслідками відновлення насаджень на староорних землях, що додатково обумовлює потребу в дослідженні особливостей їх росту і розвитку.

Лісівничо-екологічне значення м'яколистяних лісів важко переоцінити, особливо в контексті створення високопродуктивних лісів та забезпечення збереження біорізноманіття за умов зміни клімату (Istbel F. et al., 2015), підвищення стійкості хвойних насаджень проти хвороб і шкідників (Мешкова В. Л., 2009; Шпарик Ю. С., 2013), виконання водоохоронно-захисних функцій (Ткач В. П., 1999), а також зменшення ризику виникнення лісових пожеж (Зібцев С. В., 2006). Згідно з прогнозами можливих наслідків зміни клімату для лісових екосистем в Україні, роль листяних лісів може значно зрости у зв'язку з трансформацією лісорослинних умов і, як наслідок, зміною хвойних видів листяними (Швиденко А. З. та ін., 2014). М'яколистяні ліси мають важливе значення у вирішенні екологічних, рекреаційних, енергетичних і лісосировинних проблем сьогодення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями, які було проведено у Національному університеті біоресурсів і природокористування України в межах держбюджетних тем: «Розробити нормативно-інформаційне забезпечення для оцінки енергетичного потенціалу м'яколистяних лісів Полісся України» (номер державної реєстрації 0108U001970); «Розробити теоретичні основи та нормативно-інформаційне забезпечення системи оцінки вуглецедепонуючих і киснепродукуючих функцій лісів» (номер державної реєстрації 0109U000774); «Розробити нормативно-інформаційне забезпечення для оцінки енергетичного та екологічного потенціалу лісів Українських Карпат» (номер державної реєстрації 0111U003431); «Розробити наукові засади комплексного обліку лісових ресурсів на основі дистанційних технологій» (номер державної реєстрації 0112U001682); «Повернення в господарське використання для виробництва біоенергоресурсів відчужених радіоактивно забруднених територій» (номер державної реєстрації 0109U000780); «Експериментальна оцінка біогенних потоків  $^{137}\text{Cs}$  у лісових екосистемах» (номер державної реєстрації 0113U003827), до виконання яких автор залучався як виконавець окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розроблення теоретико-методологічних засад дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів та створення системи моделей і нормативів для визначення фізичних показників їх екосистемних функцій.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- опрацювати теоретико-методологічні та методичні засади комплексного дослідження фітомаси і мортмаси м'яколистяних лісів;
- розробити методику дослідження фітомаси кущів автохтонних верб Українського Полісся та створити моделі для її оцінювання;
- удосконалити нормативно-інформаційне забезпечення для визначення фітомаси, депонованого вуглецю та вмісту енергії в фітомасі дерев і деревостанів *Betula pendula* Roth, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. та *Populus tremula* L.;

- дослідити особливості формування фітомаси підліску і підросту та живого надґрунтового покриву м'яколистяних лісів, створити нормативно-довідкові матеріали для її оцінювання;
- виявити закономірності росту і розвитку модальних м'яколистяних деревостанів Українського Полісся;
- визначити біотичну продуктивність м'яколистяних насаджень та особливості формування чистої первинної продукції лісів Українського Полісся;
- встановити біопродуктивність м'яколистяних лісів Українського Полісся на основі даних дистанційного зондування Землі;
- дослідити особливості утворення мортмаси м'яколистяних лісів, її структуру, процеси деструкції, видове різноманіття її мікобіоти;
- розробити моделі для оцінювання мортмаси березових, вільхових і осикових лісів та створити нормативи для визначення обсягу в ній депонованого вуглецю і вмісту енергії;
- встановити динаміку депонованого вуглецю, киснепродуктивності, енергопродуктивності, вмісту  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в фітомасі м'яколистяних лісів.

*Об'єкт дослідження* – динаміка біопродуктивності м'яколистяних лісів Українського Полісся.

*Предмет дослідження* – біопродуктивність та екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся.

**Методи дослідження.** Теоретико-методологічні, методичні та експериментальні дослідження в рамках дисертаційної роботи базувалися на загальнонаукових і спеціальних методах пізнання з використанням інформаційних та дистанційних технологій. Для досягнення мети наукової роботи використано теоретичні та емпіричні методи дослідження. На основі комплексного застосування методів аналізу, спостереження, вимірювання, порівняння і синтезу, у процесі дослідження було розроблено й використано методики оцінювання фітомаси кущів верб, мортмаси лісу та удосконалено методичні підходи до дослідження фітомаси підліску і живого надґрунтового покриву лісу.

У процесі дослідження біопродуктивності лісів використано: методику дослідження надземної фітомаси деревостанів; метод монолітів для визначення фітомаси коренів живого надґрунтового покриву лісу; метод розкопування та відмивання скелетного коріння для встановлення фітомаси коріння кущів автохтонних верб; методику моделювання біопродуктивності лісів, розроблену в Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA); k-NN-метод для моделювання біопродуктивності лісів на основі опрацювання космічних знімків; метод відбору і опрацювання проб під час радіоекологічного моніторингу лісових екосистем. Для встановлення закономірностей росту і розвитку насаджень та створення нормативно-інформаційного забезпечення оцінювання біопродуктивності м'яколистяних лісів використано методи спостереження, вимірювання, експерименту, систематизації та моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Базуючись на принципах комплексного підходу та системного аналізу, розроблено теоретико-методологічні та методичні засади дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів і створено

систему моделей та нормативно-довідкових матеріалів для дослідження екосистемних функцій лісів й оцінювання їх лісосировинних ресурсів, забезпечення раціонального природокористування, зокрема:

*уперше:*

- розроблено методику комплексного дослідження мортмаси м'яколистяних лісів, визначено запас органічної речовини відмерлих деревних рослин у березових, вільхових і осикових насадженнях Українського Полісся;

- створено методику дослідження фітомаси кущів автохтонних верб, встановлено якісні й кількісні показники їх фітомаси;

- визначено особливості формування фітомаси підліску і підросту, живого надґрунтового покриву березняків, вільшаників і осичників та підготовлено нормативно-інформаційне забезпечення для її оцінювання;

- запропоновано нову класифікацію мортмаси за компонентами, класами деструкції та її поділ на групи за цілісністю компонентів;

- встановлено особливості утворення, накопичення та деструкції мортмаси сухостою, деревної ламані, опадів грубих гілок та підстилки в м'яколистяних лісах Українського Полісся;

- розроблено моделі для визначення мортмаси сухостою, деревної ламані, опадів грубих гілок і підстилки м'яколистяних лісів;

- встановлено динаміку структури рослинної біомаси м'яколистяних лісів;

- досліджено закономірності росту і розвитку модальних порослевих осикових деревостанів та створено таблиці ходу росту;

- визначено особливості біотичної та енергетичної продуктивності березових, сосново-березових, вільхових та осикових насаджень;

- досліджено депопування вуглецю та киснепродуктивність м'яколистяних лісів Українського Полісся;

- встановлено динаміку вмісту  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах фітомаси березових, вільхових та осикових насаджень;

*удосконалено:*

- теоретико-методологічні та методичні засади комплексного дослідження біопродуктивності лісів за її основними компонентами – фітомасою та мортмасою;

- нормативно-інформаційне забезпечення для визначення фітомаси депонованого вуглецю та вмісту енергії у фітомасі дерев м'яколистяних видів;

- математичні моделі для оцінювання фітомаси м'яколистяних деревостанів, запасу депонованого вуглецю та енергії;

*набуло подальшого розвитку:*

- дослідження закономірностей росту і розвитку модальних насінневих березняків та порослевих вільхових деревостанів;

- визначення видового складу мікобіоти мортмаси м'яколистяних лісів;

- методичні підходи до дешифрування м'яколистяних лісів за даними космічних знімків та застосування k-NN-методу для оцінювання їх біопродуктивності на основі даних дистанційного зондування Землі;

*додовнено:*

- аналітичні дані про структуру м'яколистяних лісів Українського Полісся;

- базу експериментальних даних дослідження біопродуктивності лісів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Наукові розробки у вигляді нормативно-довідкових матеріалів та науково-практичних рекомендацій як основні результати дисертаційних досліджень впроваджено у виробничу діяльність ДП «Український лісогосподарський центр консалтингу та логістики «Укрлісконсалтинг» (акт впровадження від 27.05.2015 р.), ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція» (акт впровадження від 26.05.2015 р.) та ТОВ «КОЛБЕ УКРАЇНА» (акт впровадження від 16.09.2013 р.).

Теоретичні результати застосовують у навчальному процесі під час викладання дисциплін «Лісовпорядкування», «Дистанційне зондування Землі» для підготовки студентів ОС «Бакалавр» за напрямом «Лісове і садово-паркове господарство» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України (акт впровадження від 19.06.2015 р.).

Частину теоретичних і практичних результатів дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів було практично реалізовано для оцінювання вуглецевого бюджету лісів України в рамках міжнародного наукового проекту, ініційованого Європейським Союзом №247645, FP7-PEOPLE-2009-IRSES, Marie Curie Actions – International Research Staff Exchange Scheme (IRSES) – «GESAPU – Geoinformation technologies, spatio-temporal approaches, and full carbon account for improving accuracy of GHG inventories» в ІІАСА (м. Лаксенбург, Австрія).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертанту належить постановка проблеми, визначення мети та задач дослідження, розроблення теоретико-методологічних і методичних підходів до встановлення закономірностей формування компонентів мортмаси лісу, встановлення їх обсягу та удосконалення методики оцінювання фітомаси живого надґрунтового покриву, підліску та підросту, а також удосконалення методичних основ створення нормативно-довідкових матеріалів для визначення екосистемних функцій березняків, вільшаників і осичників. Методику дослідження надземної фітомаси кущів автохтонних верб розроблено спільно з Д. М. Голякою (2014).

Основна частина наведених у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і пропозицій належить особисто дисертанту та є його науковим доробком. Деякі результати одержано у співпраці з Р. Д. Василюшиним, А. Ю. Терентьевим, В. В. Миронюком, Л. М. Матушевич, Д. М. Голякою, Я. В. Ковбасою, М. А. Бузиль, про що свідчать спільні наукові публікації та посилання в тексті дисертаційної роботи. Дисертант здійснив узагальнення теоретичних і практичних положень, підготував текст дисертації, обґрунтував висновки за результатами власних досліджень.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення, висновки і практичні рекомендації дисертаційної роботи було апробовано на всеукраїнських наукових конференціях молодих учених (м. Умань, 2009–2011 рр.); міжнародній науково-практичній конференції «Освіта, наука та інновації у лісовому і садово-парковому господарстві України в контексті регіональних та глобальних викликів» (м. Київ, 2010 р.); Second Workshop of German and Ukrainian Young Scientists in Agricultural Sciences (м. Берлін, Федеративна Республіка Німеччина, 2010 р.); наукових конференціях «Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства» (м. Умань, 2010 р., 2014 р.); науково-практичній конференції

«Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія, стан, перспективи розвитку» (м. Березне, 2010 р.); міжнародної научно-практичної конференції «Наука о лесе ХХІ века» (м. Гомель, Республіка Білорусь, 2010 р.); міжнародних конференціях науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та молодих вчених НУБіП України (м. Київ, 2011–2012 рр.); 61-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (м. Львів, 2011 р.); міжнародних науково-практичних конференціях молодих вчених «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2011 р., 2013 р.); simpozion international «Dezvoltarea durabila a sectorului forestier – noi obiective si prioritati» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 2011 р.); І міжнародній науково-практичній конференції «Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся» (м. Березне, 2012 р.); міжнародної научної конференції «Дендрология, цветоводство и садово-парковое строительство» (м. Ялта, 2012 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Ліс, довкілля, технології: наука та інновації» (м. Київ, 2012 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування» (м. Івано-Франківськ, 2012 р.); міжнародній науковій конференції «Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту» (м. Біла Церква, 2012 р.); міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Екологізація сталого розвитку і ноосферна перспектива інформаційного суспільства» (м. Харків, 2012 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє» (м. Київ, 2013 р.); 63-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2012 році (м. Львів, 2013 р.); міжнародної научно-практичної конференції «Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития» (м. Гомель, Республіка Білорусь, 2013 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Київ, 2014 р.); науковій конференції «Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства» (м. Умань, 2014 р.); International scientific conference «Earth bioresources and environmental biosafety: challenges and opportunities» (м. Київ, 2013 р.); XXIV IUFRO World Congress (м. Солт-Лейк-Сіті, Сполучені Штати Америки, 2014 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Збалансоване природокористування: традиції та інновації» (м. Київ, 2014 р.); 64-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2013 році (м. Львів, 2014 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); міжнародному форумі студентів, аспірантів і молодих учених (м. Дніпропетровськ, 2015 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційного дослідження відображено у 82 наукових та науково-методичних працях, у тому числі: монографії, 16 статтях у



наукових фахових виданнях України, 13 статтях у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 3 статтях у наукових виданнях інших держав, 2 статтях у наукових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статтях в інших виданнях, науково-виробничому довіднику та 36 матеріалах і тезах наукових доповідей. За темою дисертації підготовлено 3 науково-методичні рекомендації та отримано 3 патенти на корисну модель і 2 авторські свідоцтва.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків і рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та 10 додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 423 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі основну частину – на 302 сторінках. Дисертація містить 190 таблиць і 104 рисунки. Список використаних джерел включає 521 найменувань (з них 97 латиницею). Додатки до дисертації оформлено окремим томом (495 таблиць та рисунок) обсягом 406 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**Розділ 1 М'яколистяні ліси Українського Полісся.** В Україні стратегічний екологічний та лісоресурсний потенціал зосереджений, у першу чергу, в Карпатах та Поліссі (Генсірук С. А., 1964, 2002). Забезпечення раціонального використання лісових ресурсів у цих двох лісорослинних зонах є запорукою сталого розвитку лісового господарства в Україні, а дослідження біопродуктивності насаджень основних лісотвірних видів дозволить створити систему нормативно-інформаційного забезпечення для встановлення екосистемних функцій і послуг лісу.

У рамках реалізації Міжнародної біологічної програми, основний науковий доробок щодо дослідження біопродуктивності лісів на теренах Євразії в другій половині ХХ ст. сформував: І. К. Ієвінь, Э. О. Дикельсон (1962); Л. Е. Родин и др. (1967); О. С. Ватковський (1968, 1976); Л. К. Поздняков и др. (1969); Л. І. Половников (1970); А. І. Уткин (1970, 1974, 1975, 1982, 1986); В. В. Протопопов (1971); В. В. Смирнов (1971, 1974); А. Н. Прозоровский, Е. М. Самойлова (1972); В. К. Мякушко (1972, 1978); М. Г. Семечкина (1974, 1978); І. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич (1974); З. П. Білоус та ін. (1975); В. Н. Габеев (1976); Т. Х. Токмурзин (1976); В. А. Усольцев (1976, 1979, 1985, 1997, 2007); Н. В. Дылис, Л. М. Носова (1977); Н. І. Базилевич (1978, 1993); Н. І. Казимиров и др. (1978); М. І. Калинин (1978, 1983, 1991); Л. С. Пшеничникова (1978); Ю. А. Тамм, В. А. Росс (1979, 1980); П. М. Ермоленко (1983); А. С. Аткин (1984); С. Г. Рождественский (1986); Я. А. Сідарович, С. В. Гусакоу (1987); А. Л. Гутман, В. В. Успенский (1987) та ін. В Північній Америці аналогічними дослідженнями займалися D. D. Sharp (1975); D. H. Alban (1978); G. J. Koerper (1980); P. W. Adams (1982); O. T. Helgerson et al. (1988); D. V. Botkin (1990).

Наступний етап розвитку досліджень біопродуктивності лісів був зумовлений прийняттям на Світовому саміті в Ріо-де-Жанейро в червні 1992 року Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та впровадженням у дію Кіотського протоколу. Глобалізація екологічних проблем змусила провідні країни світу інтегрувати та синхронізувати свої зусилля для охорони навколишнього середовища. Практична

необхідність розвитку концепцій для вимірювання взаємодії економіки й навколишнього середовища зумовила практичну реалізацію Системи еколого-економічного обліку (SEEA, 2012) та дослідження екосистемних функцій і послуг (Turner D. P. et al., 1995; Vedrova E. F., 2002; Groot R. et al., 2002; Bond I. et al., 2009; Bartczak A. et al., 2014; Gauthier S. et al., 2015; Häyhä T. et al., 2015).

Найвагоміші науково-дослідні роботи з проблем оцінювання депонування вуглецю лісовими екосистемами та встановлення вуглецевого бюджету здійснили: W. M. Post et al. (1990); P. E. Kauppi et al. (1992); W. A. Kurz et al. (1992); P. Burschel et al. (1993); M. G. R. Cannell et al. (1993); T. P. Kolchugina, T. S. Vinson (1993); A. C. Исаев и др. (1993, 1999); В. А. Алексеев, Р. А. Бердси (1994); G. S. Nabuurs, G. M. J. Mohren (1995); S. Nilsson, W. Schopfhauser (1995); D. P. Turner et al. (1995, 1997); A. Shvidenko et al. (1996, 2008); П. І. Лакида (1998); А. И. Уткин и др. (1998); R. A. Houghton (1998); T. Karjalainen et al. (1999); A. Shvidenko, S. Nilsson (2002); Д. Г. Щепашенко и др. (2008) та ін.

Розвиток системи лісовпорядкування та необхідність прогнозування змін у лісовому фонді спонукали до вивчення закономірностей функціонування лісових екосистем. У різні періоди дослідженням особливостей росту, розвитку і продуктивності м'яколистяних насаджень в Україні займалися М. В. Давидов (1960, 1976, 1979); М. В. Давидов, А. В. Поляков (1966); А. А. Гирс (1987); М. Е. Лищук (1988); В. П. Ткач (1999); П. І. Лакида, Л. М. Матушевич (2006); П. І. Лакида та ін. (2010, 2011); П. І. Лакида, І. В. Блищик (2010) та ін.

Протягом останніх двох десятиліть відбувався розвиток дослідження лісів на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Теоретичні аспекти застосування даних ДЗЗ для дослідження біопродуктивності лісів та удосконалення системи лісовпорядкування в Україні набули розвитку в наукових працях С. І. Миклуша (2011), В. І. Лялька та ін. (2012), Д. М. Мовчана (2012), В. В. Миронюка та ін. (2012), О. А. Гірса та ін. (2012), І. Д. Семка (2014) та ін.

Серед м'яколистяних лісів (998,8 тис. га) Українського Полісся переважають березові ліси (526,4 тис. га), вільшаники зростають на площі 389,5 тис. га, осичники займають 41,9 тис. га, насадження верби – 10,1 тис. га, тополеві деревостани – 11,8 тис. га та інші ліси – 19,1 тис. га (табл. 1).

Таблиця 1

#### Розподіл м'яколистяних насаджень за площею та запасом

Показник	Порода						Разом
	береза	вільха	осика	тополя	верба	липа і ін.	
Вегетативне походження							
Площа, га	334506,1	327503,3	37702,0	1460,3	7856,0	14044,7	723072,4
Запас, тис. м <sup>3</sup>	54533,0	56052,9	7944,5	291,4	1206,0	3369,9	123397,7
Насіннєве походження							
Площа, га	191899,6	62006,7	4192,9	8601,2	3942,8	5103,8	275747,0
Запас, тис. м <sup>3</sup>	22114,3	8987,5	736,7	2376,1	757,0	1051,1	36022,7

Майже половина березняків (49,2 %) в Українському Поліссі зростає за умов В<sub>3</sub>–С<sub>3</sub>, ще 21,6 % – В<sub>4</sub>–С<sub>4</sub> та 17,5 % – В<sub>2</sub>–С<sub>2</sub>. Основним едактопом для вільхи є С<sub>4</sub>, за

цих умов зростає 77,4 % насаджень. Ще 13,7 % вільшаників відносять до  $C_3$  та  $C_5$ . За умов  $C_3$  зростає 42,5 % осичників, а за умов  $D_2$ – $D_3$  та  $C_2$  їх зростає відповідно 25,4 і 14,2 %.

В Українському Поліссі ліси берези повислої, вільхи клейкої і тополі тремтячої переважно відносять до високопродуктивних. Так, до II і вищих класів бонітету відносять 83,3 % березняків, 80,8 % вільшаників та 94 % осичників.

Структурі м'яколистяних лісів Українського Полісся властива суттєва вікова нерівномірність і переважання середньоповнотних насаджень (рис. 1). Понад 80 % березових, вільхових та осикових лісів мають повноту 0,6–0,8.

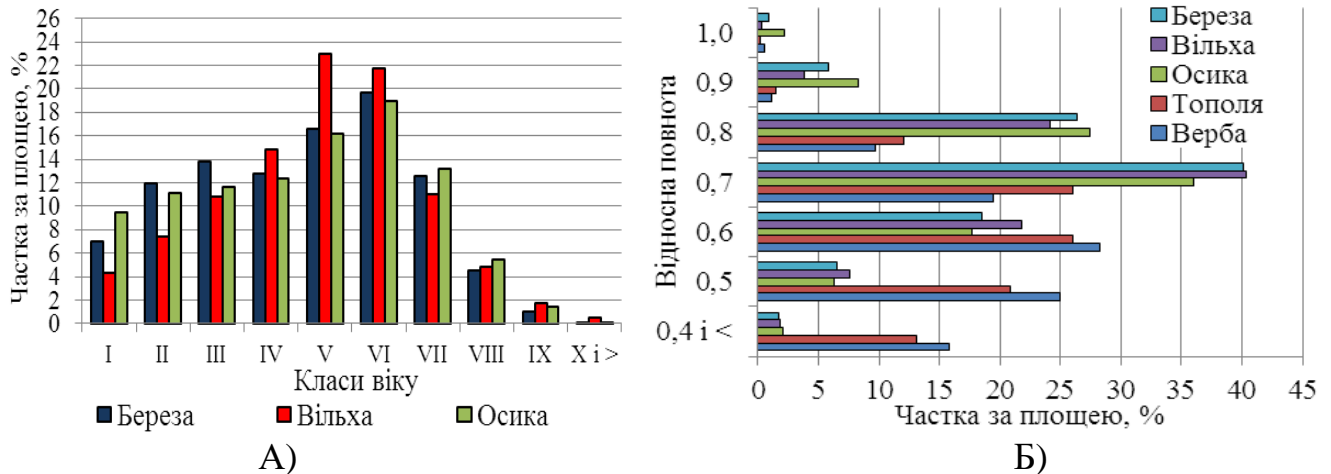


Рис. 1. Структура м'яколистяних лісів за класами віку (А) та відотною повнотою (Б)

В Українському Поліссі переважають мішані деревостани берези повислої, вільхи клейкої і тополі тремтячої. Найбільша частка чистих насаджень серед м'яколистяних видів належить вільсі клейкій (36,7 %).

**Розділ 2 Теоретико-методологічні, методичні та експериментальні основи дослідження.** Наукові дослідження пов'язані з вивченням біотичної продуктивності м'яколистяних лісів Полісся, поєднали в собі використання значної кількості методів та форм наукового пізнання. Загальнонаукові методи, зокрема аналіз, синтез, спостереження та моделювання, було поєднано з конкретно-науковими методами пізнання, розробленими для лісової таксації, лісівництва і лісознавства. Комплексний підхід до проведених наукових досліджень дозволив отримати інформацію, що характеризує процес формування біопродуктивності м'яколистяних лісів.

Дослідження екосистемних функцій лісів за фізичними показниками потребує, в першу чергу, експериментального дослідження їх біопродуктивності за основними компонентами – фітомасою і мортмасою, а також розроблення системи математичних моделей.

Мортмаса лісів є похідною від фітомаси та утворюється внаслідок відмирання рослин у процесі росту і розвитку лісового фітоценозу під дією біотичних, абіотичних та антропогенних чинників. Такий органічний зв'язок фітомаси і мортмаси як двох нерозривних категорій та особливості їхнього накопичення й трансформації спонукали до розроблення методичних підходів до дослідження мортмаси лісів

Українського Полісся. Вони базувалися на теоретичних засадах і методиці, обґрунтованих П. І. Лакидою (1997), за якою накопичено експериментальну базу дослідження фітомаси лісів України. Експериментальне оцінювання мортмаси в насадженні необхідно проводити одночасно з оцінюванням фітомаси, бо інакше буде втрачено комплексність і цінність одержаних результатів знизиться. Такий підхід до розроблення методичного забезпечення дослідження мортмаси лісів має беззаперечні переваги та деякі недоліки. Переваги полягають у наступному:

- одержання унікальних комплексних експериментальних даних з оцінювання фітомаси і мортмаси з кожної тимчасової пробної площі (ТПП);
- адаптація процесу оцінювання мортмаси та фітомаси за методикою П. І. Лакиди (1997) не створить протиріч під час інтегрування їх до наявної бази даних дослідження біопродуктивності лісотвірних видів України;
- синхронізація досліджень фітомаси і мортмаси, дозволяє зменшити, в цілому, затрати часу на підбір лісових ділянок для закладання пробних площ, проведення інструментальної зйомки та переліку дерев;
- визначення класифікації компонентів мортмаси із врахуванням наявної класифікації компонентів фітомаси.

Сутність недоліків – зростання витрат часу та праці на закладання ТПП і відмінності розроблених методичних підходів від наявних методик, що створює певні труднощі для співставлення одержаних результатів.

У процесі дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів використано методику П. І. Лакиди, яка дозволила оцінити роль компонентів надземної фітомаси деревостанів – деревини і кори стовбурів, гілок і листя – у загальній структурі рослинної біомаси лісу.

Для дослідження фітомаси живого надґрунтового покриву (ЖНП), підліску і підросту за основу використано класичні методи дослідження динаміки рослинної органічної біомаси (Базилевич Н. И. и др., 1978), які було удосконалено та модифіковано до об'єкта дослідження.

Визначення фітомаси живого надґрунтового покриву лісу ( $Mf_{\text{ЖНП}}$ , т·га<sup>-1</sup>) передбачало: вимірювання загальної площі ТПП ( $S_{\text{РА}}$ , га), площі мікроасоціацій рослинності в її межах ( $S$ , м<sup>2</sup>), середньої висоти ЖНП, зрізування фітомаси надземної частини ( $m_U$ , кг·м<sup>-2</sup>) і виокремлення коренів ( $m_R$ , кг·м<sup>-2</sup>) трав'яних рослин у свіжозібраному стані на облікових площадках розміром 1×1 м або зі стороною не менше подвійного значення висоти панівних рослин, зважування фітомаси у свіжозібраному стані, визначення вмісту абсолютно сухої речовини в надземній фітомасі ( $p_U$ ) й коренях ( $p_R$ ) панівних рослин та розрахунок фітомаси за формулою (1). Визначення фітомаси коренів ЖНП здійснювали методом монолітів.

$$Mf_{\text{ЖНП}} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_{U_i} \cdot p_{U_i} + m_{R_i} \cdot p_{R_i}) \cdot S_i}{S_{\text{РА}}} \quad (1)$$

Для дослідження фітомаси підліску та підросту закладали 3–5 пробних ділянок квадратної форми, як правило, розміром 5×5 м, 10×10 м. На них здійснювали суцільний перелік рослин за видовою приналежністю та станом. У всіх рослин вимірювали діаметр на висоті 1,3 м або діаметр основи стовбура. За

результатами переліку відбирали по 3–5 модельних рослин панівних видів для визначення біометричних показників фітомаси стовбурів, гілок і листя. Модельні рослини зрізали, окремо зважували стовбур, гілочки та листя. За можливості, здійснювали розподіл фітомаси модельних рослин за такими фракціями: листя; однорічні і тонкі (до 0,50 см), середні (0,51–1,00 см) і товсті (більші 1,01 см) пагони. Відбирали наважки (як правило по 10 г) пагонів (3 шт.), гілок (3 шт.) і листя (3 шт.) для визначення вмісту абсолютно сухої речовини у фітомасі.

Основну частину відомих методичних підходів і принципів класифікації компонентів мортмаси лісу (Smith J. H. G., 1976; Harmon M. E., Sexton J., 1996; Ведрова Э. Ф., 2000; Трейфельд Р. Ф. и др., 2002; Yatskov M. A. et al., 2003; Швиденко А. З. и др., 2009; Пастернак В. П., 2009; Шпарик Ю. С. та ін., 2010) використано у дослідженнях грубого деревного детриту (анг. *coarse woody debris*), проте їх використання повною мірою неможливе для комплексного вивчення рослинної біомаси м'яколистяних лісів.

Методологічні засади дослідження мортмаси лісу розроблено на основі закономірностей утворення, просторового розміщення, накопичення і деструкції рослинної органічної речовини відмерлих рослин та узгоджено з методичними підходами до оцінювання надземної фітомаси деревостану.

Розроблена методика для дослідження мортмаси лісу (Білоус А. М., 2014) передбачає дослідження фізичних показників органічної речовини відмерлих рослин. Методика включає облік сухоостою на ТПП, у тому числі сухостійних дерев із диференціацією їх на I–II класи деструкції та I–IV групи за наявності компонентів мортмаси (дрібних і грубих гілок) і цілісності стовбурів (рис. 2); мортмаси деревної ламані з поділом на I–V класи деструкції та I–VI групи (рис. 3) за наявності дрібних і грубих гілок та їх цілісності; гілок із диференціацією на I–V класи деструкції; сухих гілок на живих модельних деревах; підстилки, в тому числі опадку листя та дрібних гілок. За можливості визначали причину утворення сухоостою та деревної ламані.

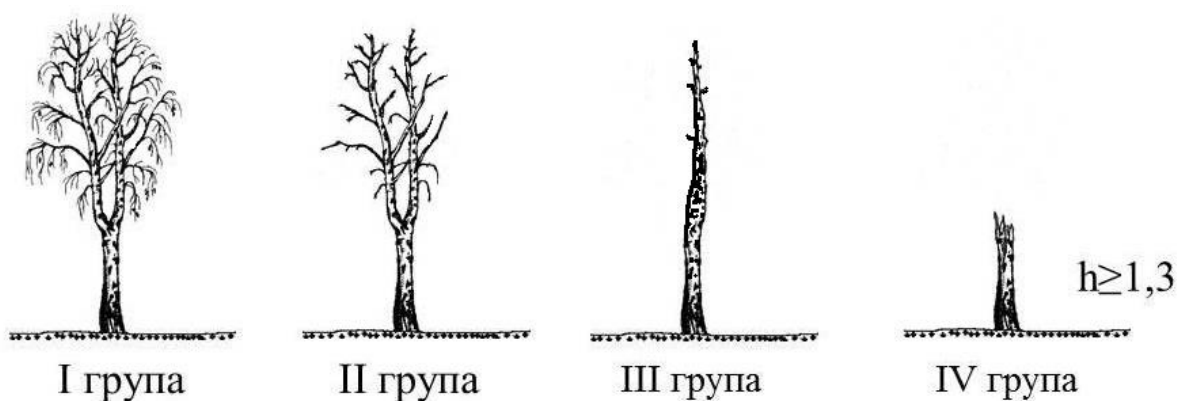


Рис. 2. Диференціація сухостійних дерев за групами

Під час встановлення мортмаси сухостійних дерев ( $m_d$ , кг) здійснювали вимірювання висоти ( $h$ , м) у всіх дерев та діаметра на висоті 1,3 м у цілих сухостійних дерев, а також діаметра на середині висоти в зламаних дерев для визначення площі поперечного перерізу стовбура на середині висоти зламаного

дерева ( $\gamma$ ,  $\text{см}^2$ ). Для визначення базисної щільності мортмаси стовбура у корі ( $p_{mst}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) та мортмаси гілок ( $p_{mg}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) відпилювали зразки деревини в корі в дерев кожної групи, здійснювали їх обмір у свіжовідібраному і зважування в абсолютно сухому стані. За отриманими результатами та на основі даних об'єму стовбура ( $v_{st}$ ,  $\text{м}^3$ ), показниками фітомаси дрібних гілок ( $f_g$ ,  $\text{кг}$ ) і грубих гілок ( $f_{gg}$ ,  $\text{кг}$ ) аналогічних за розмірами дерев і показниками базисної щільності фітомаси гілок ( $p_{fg}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) диференційовано визначали мортмасу дерев кожної з груп за формулами (2–5):

– I група (з дрібними і грубими гілками) – 
$$m_d = v_{st} \cdot p_{mst} + (f_g / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (2)$$

– II група (з грубими гілками) – 
$$m_d = v_{st} \cdot p_{mst} + (f_{gg} / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (3)$$

– III група (без гілок) – 
$$m_d = v_{st} \cdot p_{mst}, \quad (4)$$

– IV група (для зламаного дерева) – 
$$m_d = \gamma \cdot h \cdot 10^{-4} \cdot p_{mst}. \quad (5)$$

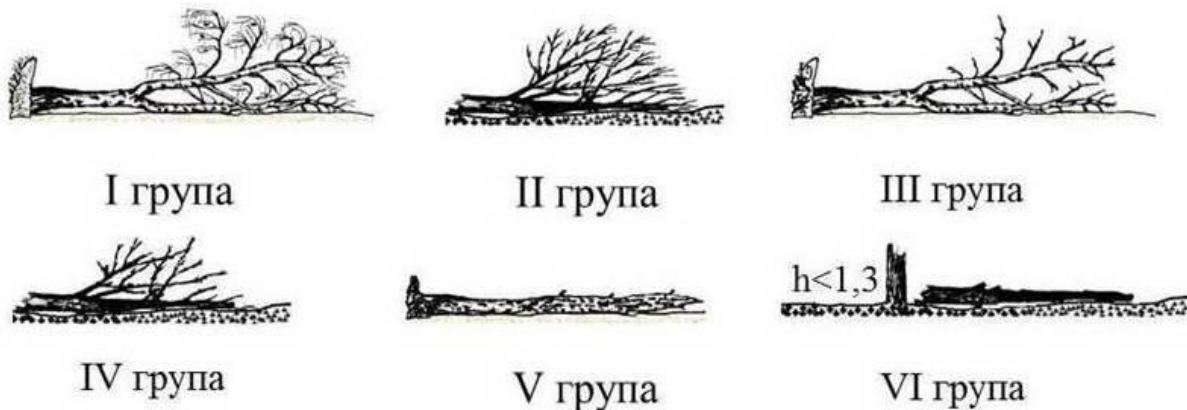


Рис. 3. Диференціація деревної ламані за групами

Визначення мортмаси деревної ламані ( $m_{dl}$ ,  $\text{кг}$ ) здійснювали на основі поділу деревної ламані на шість груп з урахуванням цілісності мортмаси дерева, наявності дрібних (діаметр яких менше або дорівнює 1  $\text{см}$ ) і грубих гілок. Проводили обмір деревної ламані для встановлення об'єму ( $v_{st}$ ,  $\text{м}^3$ ) стовбура або його фрагмента ( $v_{fst}$ ,  $\text{м}^3$ ). На основі відібраних зразків визначали середню базисну щільність деревини у корі мортмаси стовбура ( $p_{mst}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) та мортмаси гілок ( $p_{mg}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ).

На основі отриманих показників об'єму й щільності мортмаси стовбурів і гілок та даних про фітомасу всіх гілок ( $f_g$ ,  $\text{кг}$ ) або грубих гілок ( $f_{gg}$ ,  $\text{кг}$ ), аналогічних за розміром дерев та середню базисну щільність фітомаси гілок ( $p_{fg}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) визначали диференційовано запас мортмаси кожної з груп за формулами (6–11):

– I група – дерево з цілісною кроною – 
$$m_{dl} = v_{st} \cdot p_{mst} + (f_g / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (6)$$

– II група – частина дерева з цілісною кроною – 
$$m_{dl} = v_{fst} \cdot p_{mst} + (f_g / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (7)$$

– III група – дерево з грубими гілками – 
$$m_{dl} = v_{st} \cdot p_{mst} + (f_{gg} / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (8)$$

– IV група – частина дерева з грубими гілками – 
$$m_{dl} = v_{fst} \cdot p_{mst} + (f_{gg} / p_{fg}) \cdot p_{mg}, \quad (9)$$

– V група – стовбур без гілок – 
$$m_{dl} = v_{st} \cdot p_{mst}, \quad (10)$$

– VI група – частина стовбура без гілок і пні – 
$$m_{dl} = v_{fst} \cdot p_{mst}. \quad (11)$$

Процес утворення мортмаси складний за своєю природою, проте його можна узагальнити в межах основних п'ятьох варіантів (рис. 4). Варіант 1 передбачає



утворення опаду листя, дрібних і грубих гілок, а також частинок кори й інших дрібних фракцій у процесі росту та розвитку дерев. Опад таких компонентів формує переважно мортмасу підстилки. Варіант 2 передбачає поетапне відокремлення компонентів мортмаси відмерлого дерева до повної її деструкції та передбачає тривале існування сухою. Утворення мортмаси за варіантом 3 відбувається з причини розламування стовбура живого дерева, а варіант 4 передбачає утворення мортмаси за наслідками впливу вітру. У варіанті 5 спочатку утворюється сухостійне дерево, а потім, унаслідок розламування стовбура, продовжується процес деструкції окремо зламаного сухою (або пня) та деревної ламані.






























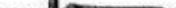


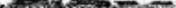

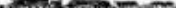


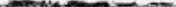

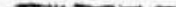
1	2	3	4	5	Клас деструкції мортмаси
					
					I
					I
					II
					II
					III
					IV
					V

Рис. 4. Схема процесу утворення та деструкції мортмаси лісу

Для дослідження фітомаси кущів автохтонних верб розроблено методику оцінювання компонентів їх надземної фітомаси, теоретичною основою якої є спосіб

оцінювання 5 пагонів (Білоус А. М., Голяка Д. М., 2014). Оцінюванню підлягали грубі, середні, дрібні й однорічні пагони та листя. Фітомасу коренів кущів верб досліджували методом розкопування й відмивання скелетного коріння (Усольцев В. А., 2007). Для дослідження загальної фітомаси верб здійснено оцінювання 30 кущів верби попелястої, 12 – верби козячої, 15 – верби тритичинкової, 15 – верби п'ятитичинкової в Житомирській, Київській та Чернігівській областях.

У процесі дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів Українського Полісся використано експериментальну базу даних 443 ТПП. За участі здобувача було закладено 33 ТПП у березняках, 13 – у вільшаниках, 47 – в осичниках. Також використано дані 342 ТПП із дослідного фонду кафедр НУБіП України та інформацію щодо 18 ТПП із бази даних ПАСА. Дослідження мортмаси м'яколистяних лісів було здійснено на 109 ТПП, у тому числі 77 ТПП закладено у березняках та по 16 ТПП – у вільшаниках та осичниках (табл. 2).

Таблиця 2

### Дослідні дані оцінювання фітомаси м'яколистяних лісів

Вид	ТПП з оцінюванням фітомаси					
	деревостан				ЖНП	підлісок і підріст
	стовбур		гілки	листя		
	деревина у корі	кора				
Берега повисла	145	145	84	84	38	38
Вільха клейка	147	147	56	56	10	10
Тополя тремтяча	133	133	47	47	27	27

Теоретико-методологічні засади дослідження лісових екосистем за даними ДЗЗ базувалися на системному аналізі та комплексному підході в поєднанні даних дистанційного оцінювання і наземних експериментальних робіт та використання k-NN-методу для моделювання фітомаси м'яколистяних лісів. Для забезпечення дослідження лісів Українського Полісся із застосуванням даних ДЗЗ в Чернігівській області організовано репрезентативний експериментальний полігон загальною площею 4509,5 га.

**Розділ 3 Моделювання росту м'яколистяних деревостанів.** Дослідження закономірностей, особливостей росту і розвитку лісів та прогнозування динамічних процесів у лісових фітоценозах мають фундаментальне значення, оскільки відбуваються глобальні зміни клімату й загострення регіональних проблем ресурсозабезпечення.

Унікальну біологічну здатність деревних рослин «відображати» історію свого росту і розвитку в накопиченій біомасі використовують для широкого кола наукових досліджень навколишнього природного середовища, кліматичних змін та історичних процесів. Можливість детального аналізу росту дерев відкриває шлях до нових знань про закономірності й особливості росту деревостанів та, відповідно, розроблення їх моделей росту.



У XIX–XX ст. науковий інтерес до досліджень ходу росту лісів переважно базувався на потребі організації і оптимізації використання їх ресурсного потенціалу. Проте в кінці XX та на початку XXI ст. хід росту деревостанів розглядають як первинну модель розвитку лісових екосистем.

Методологічне обґрунтування створення таблиць ходу росту (ТХР) на сучасному етапі розвитку лісівничої науки в Україні здійснено К. Є. Нікітіним (1966); А. З. Швиденком и др. (1987, 2008); А. А. Строчинським (1992); П. І. Лакидою (1988); В. Ю. Юхновським (2003); С. І. Миклушем (2011); Ю. Й. Каганяком (2008); Г. Г. Гриником (2013); Р. Д. Васишиним (2014) та ін. Особливої уваги заслуговує унікальна за обсягом наукова розробка (Швиденко А. З. и др., 2008), в якій дослідникам вдалося інтегрувати, систематизувати й узагальнити науковий доробок вчених лісівників із моделювання ходу росту деревостанів. Унікальною особливістю вищевказаних ТХР є узагальнення типів таблиць за основними цілями їх застосування, стандартизація таблиць за формою, інформаційна та методична єдність, уніфікація нормативів за продуктивністю.

Хід росту модальних м'яколистяних деревостанів слугує первинним етапом у системі моделювання їх біопродуктивності та дослідження екосистемних функцій. На основі статистичного аналізу бази даних «Лісовий фонд України» обґрунтовано виділення в умовах Українського Полісся мішаних насінневих березових і сосново-березових та порослевих вільхових й осикових насаджень для моделювання ходу росту деревостанів. Для вказаних модальних насаджень розроблено моделі динаміки таксаційних показників деревостанів, у тому числі середньої висоти й діаметра, запасу, а також загальної продуктивності, середнього і поточного приростів. Для березових, сосново-березових та осикових деревостанів розроблено моделі динаміки частки участі виду у складі насадження.

Динаміка вказаних вище параметрів вирівнювалась із використанням функції росту Берталандфі, відомої в науковій літературі як функція Дракіна-Вуєвського або Річарда-Чепмена (Richards F. J., 1959). Диференційне (12) й інтегральне (13) рівняння має вигляд (Щепашенко Д. Г. и др., 2008):

$$\frac{dX_i}{dt} = c_3 c_2 c_1^{1/c_3} - c_3 c_2 X_i, \quad (12)$$

$$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3}. \quad (13)$$

У межах кожного класу бонітету моделі (12–13) відображають приріст і накопичене значення таксаційного показника як функцію віку. Кожен коефіцієнт рівняння має пояснення:  $c_1$  – максимально можливе значення ростової функції, тобто відображає рівень використаного потенціалу за наявних лісорослинних умов;  $c_2$  – масштабує часову вісь та характеризує швидкість росту деревостану, водночас є пропорційним віку найвищого приросту. Значення  $c_1 c_2 (1 - 1/c_3) \exp(c_3 - 1)$  представляє максимальне значення поточного приросту, і  $[\ln(c_3) / c_2]$  є точкою перегину ростової функції (Щепашенко Д. Г. и др., 2008).

На основі моделей росту м'яколистяних деревостанів для кожного класу бонітету здійснювалася апроксимація коефіцієнтів для деревного виду на основі поліному у вигляді квадратичної форми (14–16) (Щепашенко Д. Г. и др., 2008):

$$c_1 = c_{13}B^2 + c_{12}B + c_{11}, \quad (14)$$

$$c_2 = c_{23}B^2 + c_{22}B + c_{21}, \quad (15)$$

$$c_3 = c_{33}B^2 + c_{32}B + c_{31}, \quad (16)$$

де  $B$  – індекс продуктивності деревостанів (бонітету),  $c_1 \dots c_3$  та  $c_{11} \dots c_{33}$  – коефіцієнти.

Розроблені моделі динаміки таксаційних показників м'яколистяних деревостанів перевіряли графічним (рис. 5) та аналітичним методом для уникнення помилок. Усі отримані результати характеризувались квадратичним відхиленням початкових даних від одержаних у межах 3 %, а також розбіжністю в будь-якій окремій точці до 6 %. Адекватність вирівнювання оцінювалася за аналізом залишків.

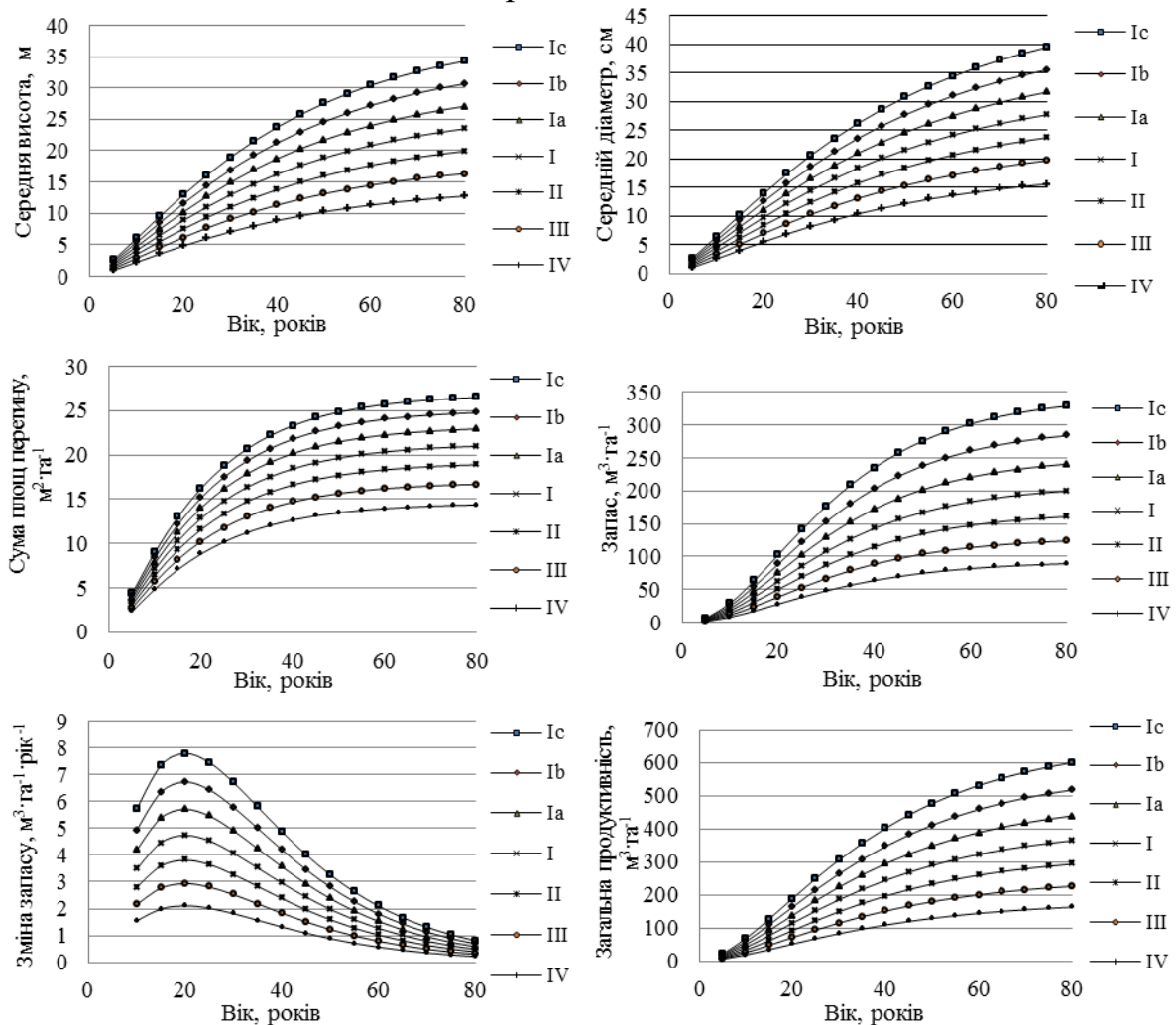


Рис. 5. Динаміка основних таксаційних показників модальних мішаних березових деревостанів

Розроблені таблиці ходу росту модальних мішаних насінневих березових і сосново-березових деревостанів (I<sup>c</sup>–IV класів бонітету) та порослевих вільхових (I<sup>b</sup>–IV класів бонітету) й осикових (I<sup>c</sup>–IV класів бонітету) деревостанів відображають закономірності росту і розвитку деревостанів у віковому діапазоні 10–80 років. Вони можуть використовуватися як складова частина раціональної системи обліку лісосировинних ресурсів.

**Розділ 4 Моделювання біопродуктивності м'яколистяних лісів.** Сутність методології оцінювання екологічного і ресурсно-енергетичного потенціалу насаджень полягає у застосуванні системного і комплексного підходів до дослідження компонентів біопродуктивності лісів.

Для моделювання компонентів фітомаси, запасу стовбурів у корі та відношення маси окремих компонентів фітомаси до запасу стовбурів у корі насаджень ( $M_i$ ) на основі їхньої залежності від віку, середнього діаметра ( $D$ ) і висоти ( $H$ ), відносної повноти ( $P$ ) і бонітету використано рівняння (17):

$$M_i = f(A, D, H, P, B). \quad (17)$$

Апроксимацію моделей здійснювали шляхом визначення показників компонентів надземної фітомаси м'яколистяних насаджень в абсолютно сухому стані, які порівнювали з вихідними. Розбіжність між вихідними і визначеними за відповідними моделями величинами оцінювали статистиками їхніх залишків та порівнянням коефіцієнтів детермінації отриманих рівнянь. Найкращі результати моделювання компонентів фітомаси лісів в абсолютно сухому стані було досягнуто під час використання регресійного рівняння (18), яке часто використовують у практиці досліджень біопродуктивності лісів (Лакида П. І., 2002, 2010, 2012).

$$Mf_i = a_0 \cdot D^{a_1} \cdot H^{a_2} \cdot P^{a_3}, \quad (18)$$

де  $Mf_i$  – компоненти надземної фітомаси, т·га<sup>-1</sup>;  $a_0 \dots a_3$  – коефіцієнти регресії.

За результатом моделювання створено моделі для оцінювання фітомаси стовбурів у корі, деревини стовбурів, гілок у корі, деревної зелені, листя, підліску і підросту та ЖНП або, в окремих випадках, моделі їх відношення до запасу стовбурів у корі насаджень берези повислої, вільхи клейкої і тополі тремтячої (осики). Загальна надземна фітомаса м'яколистяних насаджень визначена як інтегральний показник усіх компонентів (рис. 6).

Для дослідження динаміки біопродуктивності лісів використано методичні підходи, розроблені в ПАСА (Швиденко А. З. и др., 2008). Для розроблення таблиць біопродуктивності лісів (табл. 3) здійснено моделювання конверсійних коефіцієнтів фітомаси стовбурів у корі, кори, гілок та листя за регресійним рівнянням (19), а для моделювання нижніх ярусів насадження використано модель, аналогічну за структурою залежності фітомаси ЖНП, підліску і підросту від таксаційних показників (Щепашенко Д. Г. и др., 2008).

$$R^i = \frac{M_f}{M} = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot P^{a_3} \cdot \exp(a_4 \cdot A + a_5 \cdot P), \quad (19)$$

де  $R^i$  – конверсійні коефіцієнти фітомаси;  $a_0 - a_5$  – коефіцієнти регресії.

Визначення загальної продуктивності лісових екосистем за фітомасою здійснювали за методикою, розробленою в ПАСА (Щепашенко Д. Г. и др., 2008).

Розроблені моделі динаміки біопродуктивності м'яколистяних лісів Українського Полісся та аналогічні моделі (Швиденко А. З. и др., 2008) для лісів інших лісотвірних видів, переважно Європейської частини Євразії, було використано для визначення загальної фітомаси лісів на основі повидільної бази даних лісового фонду України всіх лісокористувачів. Загальна фітомаса лісів Українського Полісся становить понад 456 млн т абсолютно сухої речовини, у тому числі понад 371 млн т – надземна.

Основна частка загальної фітомаси належить сосновим лісам (66 %). Четверта частина фітомаси належить дубовим (13 %) і березовим насадженням (12 %). У вільхових лісах накопичено 7 % загальної фітомаси лісів Українського Полісся, в ялинниках і осичниках – по 1 %, а фітомаса лісів інших деревних видів становить близько 1 %.

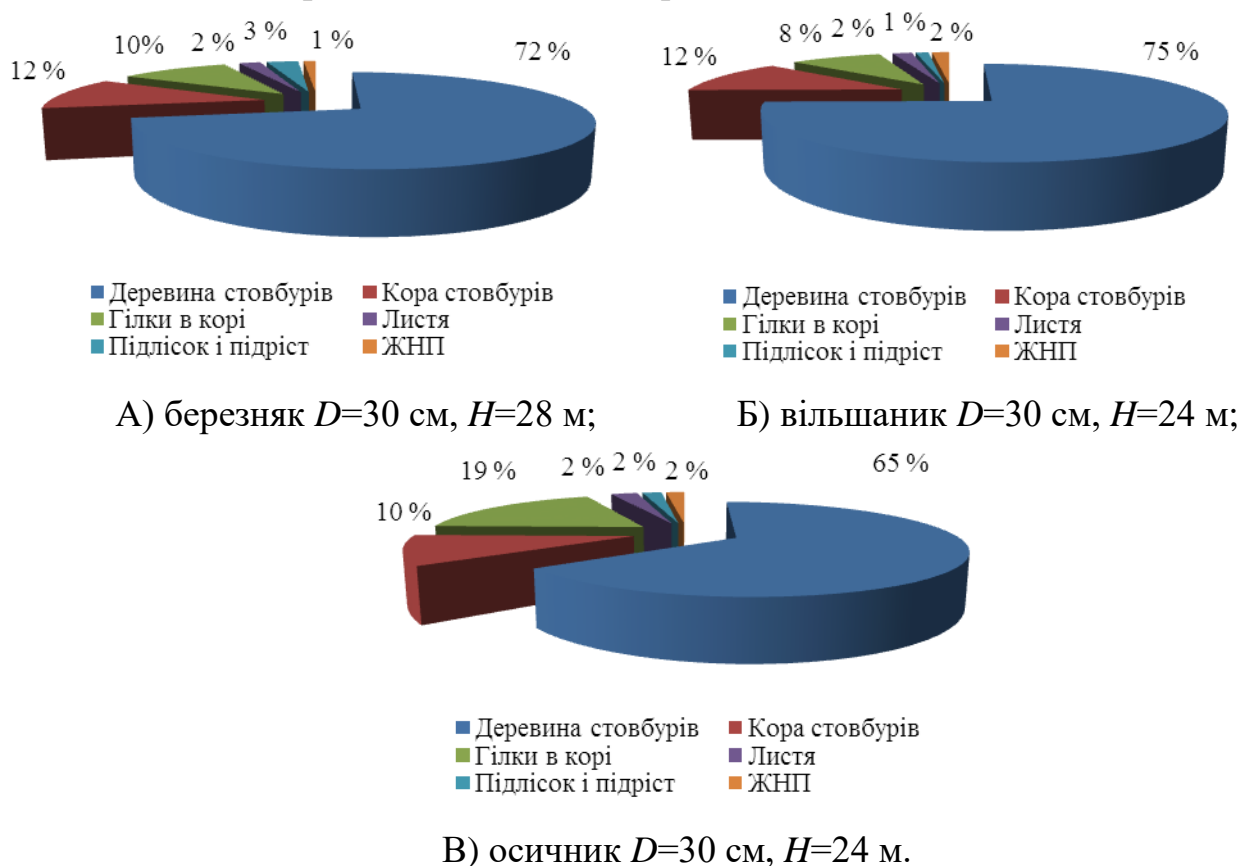


Рис. 6. Структура фітомаси м'яколистяних насаджень з відносною повнотою 0,7

У структурі фітомаси вільхових лісів на стовбури у корі приходиться 70 %, а в березових і осикових – по 62 %. Серед м'яколистяних видів найвищу частку гілок у корі в структурі загальної фітомаси виявлено в осичниках (24,3 %), а у березняках – найвищі показники частки листя (2,2 %) і коренів (24,3 %).

Визначення чистої первинної продукції (ЧПП) лісових екосистем є ключовим завданням на шляху до визначення бюджету вуглецю, балансу енергії та інших екосистемних функцій лісів. Із загального обсягу ЧПП ( $14,88 \text{ Тг С} \cdot \text{рік}^{-1}$ ) в Українському Поліссі 60 % формують хвойні ліси, 27 % – м'яколистяні і 13 % – твердолистяні насадження. Серед хвойних лісів 99 % ЧПП формують сосняки і 1 % – ялинники. У структурі ЧПП м'яколистяних насаджень 58 % утворюють березняки, 36 % – вільшаники та 6 % – осичники. Ліси твердолистяних видів, які беруть участь у формуванні ЧПП, в основному представлені дібровами.

Розподіл ЧПП за компонентами фітомаси є типовими для помірної зони, де 27 % її обсягу зосереджено у стовбурах, 31 % – коренях, 16 % – листі (хвої) та 6 % – гілках. Вагому роль у продукуванні ЧПП відіграють трав'яно-чагарникові яруси. У фітомасі підліску зосереджено 5 % загальної ЧПП, а в ЖНП – 15 %. Відношення ЧПП локалізованої в надземній фітомасі деревостанів до підземної становить для берези повислої 2,17, для вільхи клейкої – 1,61 і тополі тремтячої – 1,70.

## Динаміка біопродуктивності м'яколистяних насаджень Українського Полісся (І клас бонітету)

Вік, років	Фітомаса насадження, т·га <sup>-1</sup>										Загальна продуктивність фітомаси, т·га <sup>-1</sup>	Поточний приріст фітомаси, т·га <sup>-1</sup> ·рік <sup>-1</sup>	
	деревостан						підлісок і підріст	живий надрунтовий покрив	всього	наявного насадження		за загальною продуктивністю	
	стовбур	у тому числі кора	гілки	листя	всього надземна	коріння							всього
Модальні березові насадження насінневого походження													
20	31,0	4,8	4,3	1,8	37,1	16,9	54,0	0,9	1,6	56,5	154,1	3,90	10,49
40	72,2	10,7	9,8	2,7	84,6	31,1	115,7	1,7	1,8	119,3	380,0	2,28	11,34
60	93,2	13,5	13,0	2,8	109,0	36,8	145,7	2,5	2,5	150,6	599,3	1,08	10,76
Модальні сосново-березові насадження													
20	32,8	5,1	4,5	1,9	39,3	17,9	57,2	0,9	1,6	59,7	147,0	4,65	10,84
40	85,6	12,7	11,6	3,2	100,4	36,9	137,2	1,7	1,8	140,8	395,7	3,14	12,80
60	115,3	16,7	16,0	3,5	134,8	45,5	180,3	2,5	2,5	185,2	646,5	1,56	12,35
Модальні вільхові насадження порослевого походження													
20	63,1	8,7	7,4	2,8	73,2	21,0	94,2	0,6	1,6	96,4	209,7	4,39	12,60
40	111,5	15,3	10,6	2,9	125,0	31,2	156,2	1,1	2,4	159,7	457,0	2,20	11,92
60	135,2	18,4	11,8	2,5	149,5	35,2	184,7	1,6	3,1	189,4	678,5	0,98	10,53
Модальні осикові насадження порослевого походження													
20	49,6	7,4	11,0	2,9	63,5	24,1	87,6	1,4	1,7	90,8	236,8	5,44	15,92
40	113,5	15,8	23,3	4,0	140,7	44,4	185,1	2,2	2,0	189,3	580,6	4,27	17,37
60	160,8	21,5	33,4	4,2	198,4	55,5	253,8	3,1	2,3	259,2	917,6	2,85	16,42

Фітоценози з домінуванням кущів автохтонних верб, мабуть, є одними з найскладніших об'єктів для таксації та впорядкування, оскільки, зростаючи разом із деревами вільхи й тополь за різних просторових комбінацій, верби можуть утворювати різні ландшафти. Теоретична основа методики дослідження надземної фітомаси кущів верб базується на аналізі просторово-розмірної структури фітомаси пагонів та закономірностей їх будови. Найкращі моделі (20–23) фітомаси верби попелястої, козячої, тритичинкової і п'ятитичинкової одержано за використання ступеневої залежності фітомаси від середнього діаметра куща ( $D_k$ ) та висоти ( $H_k$ ) (табл. 4).

Таблиця 4

**Математичні моделі загальної фітомаси кущів автохтонних верб**

Номер моделі	Вид	Модель	Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ )
20	<i>Salix cinerea</i> L.	$M_{fw} = 2,101 \cdot D_k^{1,190} \cdot H_k^{1,581}$	0,87
21	<i>Salix caprea</i> L.	$M_{fw} = 0,738 \cdot D_k^{0,911} \cdot H_k^{1,259}$	0,99
22	<i>Salix triandra</i> L.	$M_{fw} = 0,173 \cdot D_k^{2,481} \cdot H_k^{2,170}$	0,99
23	<i>Salix pentandra</i> L.	$M_{fw} = 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot D_k^{3,361} \cdot H_k^{7,501}$	0,83

Перспективи широкого застосування дистанційних технологій для інвентаризації лісів та інших завдань лісовпорядкування мають інноваційні переваги над наземними методами, проте потребують створення відповідного методичного забезпечення для дешифрування лісового фонду та алгоритмів моделювання рослинної біомаси. Для дистанційного дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів на території експериментального полігону використовували дані космічних знімків *RapidEye* (2011), *Ikonos* (2012), цифрову модель рельєфу, модель *randomForest* для класифікації даних космічних знімків. Для моделювання фітомаси було застосовано  $k$ -NN-метод (*k-Nearest Neighbors*) (McRoberts R. E. et al., 2002) на основі пакету *yalImpute* (Crookston N. L., Finley A. O., 2008). Розрахунок фітомаси здійснювали за різними мірами відстаней між найближчими «сусідами» спектральної яскравості цільового пікселя та референц-пікселя космічного знімка, у тому числі за допомогою абсолютної Евклідової різниці (*EUC*) і різниці Махаланобіса (*MAL*) спектральної яскравості цільового пікселя та референц-пікселя космічного знімка, канонічного кореляційного аналізу (*MSN*), компонентного аналізу (*ICA*), канонічного кореспонденс-аналізу (*GNN*). Точність різних класифікаційних моделей аналізували за середнім квадратичним відхиленням (Tompro E. et al., 2008; Миронюк В. В., 2015) (табл. 5).

Таблиця 5

**Точність моделювання фітомаси за різними мірами відстаней**

Компонент фітомаси	<i>EUC</i>	<i>MAL</i>	<i>MSN</i>	<i>ICA</i>	<i>GNN</i>	<i>randomForest</i>
Стовбури в корі	0,98	0,89	0,72	0,89	0,81	0,49
Наземна деревостану	0,98	0,89	0,72	0,89	0,81	0,49
Загальна деревостану	1,00	0,92	0,75	0,92	0,85	0,51
Загальна насадження	1,00	0,92	0,76	0,92	0,86	0,51

Для визначення оптимальної кількості «сусідів» ( $k$ ) проведено розрахунки за  $MSN$  для  $k=2-20$  та встановлено, що ефективнішим є використання  $k=4$ .

Відхилення середніх значень загальної фітомаси деревостанів і насаджень за даними дистанційного оцінювання у порівнянні з наземним наведено в табл. 6.

Таблиця 6

**Середні значення загальної фітомаси м'яколистяних деревостанів та насаджень за даними наземних і дистанційних досліджень**

Вид	Загальна фітомаса деревостанів			Загальна фітомаса насадження		
	наземні дані, т·га <sup>-1</sup>	дані ДЗЗ, т·га <sup>-1</sup>	відхилення, %	наземні дані, т·га <sup>-1</sup>	дані ДЗЗ, т·га <sup>-1</sup>	відхилення, %
Береза повисла	98	98	0,1	102	101	-0,8
Вільха клейка	76	81	6,6	80	85	6,3
Тополя тремтяча	118	130	10,2	123	135	9,6

Моделювання фітомаси м'яколистяних насаджень за даними ДЗЗ для кожного таксаційного виділу не принесло задовільного результату у зв'язку з неприйнятним відхиленням від наземних даних, що зумовлено просторово-розмірними та лісівничо-таксаційними особливостями кожного виділу. Разом з тим, оцінювання загальної фітомаси лісів полігону за даними ДЗЗ показало відхилення 1,5–2,3 % від результатів моделювання за даними наземного обліку.

**Розділ 5 Мортмаса м'яколистяних лісів.** Мортмаса лісів є невід'ємним та надзвичайно важливим компонентом лісових екосистем. Накопичення органічної речовини у процесі росту і розвитку дерев у лісових фітоценозах завжди супроводжується процесом утворення мортмаси та її розкладанням, що має важливе екологічне значення, в тому числі для депонування вуглецю та забезпечення біорізноманіття.

На основі дослідних даних встановлено середню базисну щільність мортмаси стовбурів і гілок берези повислої, вільхи клейкої, тополі тремтячої I–V класів деструкції та розроблено математичні моделі для визначення мортмаси сухостою ( $Mm_{сух}$ ), деревної ламані ( $Mm_{дл}$ ), опаду грубих гілок ( $Mm_{г}$ ) та підстилки ( $Mm_{п}$ ) на основі їх залежності від віку, середньої висоти, середнього діаметра, бонітету і відносної повноти. Для встановлення мортмаси підстилки березняків розроблено моделі відношення мортмаси фітомаси до запасу стовбурів у корі ( $Rv_n$ ). Для створення довідкових таблиць щодо оцінювання мортмаси м'яколистяних насаджень та агрегування даних їх фітомаси запропоновано моделі (24–35) (табл. 7). Загальну надземну мортмасу м'яколистяних лісів установлювали як суму її компонентів.

Протягом усього періоду росту і розвитку модельного березового насадження наявна надземна загальна мортмаса може становити від 6 до 30 т·га<sup>-1</sup>, вільхових насаджень – від 5 до 26 т·га<sup>-1</sup>, осичників – від 9 до 25 т·га<sup>-1</sup> абсолютно сухої речовини. Структура мортмаси м'яколистяних лісів із віком суттєво змінюється: частка підстилки зменшується, а частка сухостою, деревної ламані й опаду грубих гілок поступово збільшується.

## Математичні моделі для оцінювання мортмаси м'яколистяних лісів

Номер моделі	Модель	Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ )
<b>Береза повисла</b>		
24	$Mm_{\text{сух}}=0,016 \cdot D^{0,971} \cdot H^{0,841} \cdot P^{0,817}$	0,84
25	$Mm_{\text{дл}}=0,015 \cdot D^{1,387} \cdot H^{0,449} \cdot P^{1,151}$	0,85
26	$Mm_{\varepsilon}=1,825 \cdot 10^{-3} \cdot D^{1,340} \cdot H^{0,903} \cdot P^{1,132}$	0,87
27	$Rv_n=0,222 \cdot D^{-0,658} \cdot H^{0,318} \cdot P^{-0,795} \cdot \exp(0,01199 \cdot D + (-0,06633 \cdot H))$	0,83
<b>Вільха клейка</b>		
28	$Mm_{\text{сух}}=0,023 \cdot D^{0,587} \cdot H^{1,130} \cdot P^{-0,290}$	0,86
29	$Mm_{\text{дл}}=0,429 \cdot D^{1,232} \cdot H^{-0,482} \cdot P^{0,217}$	0,78
30	$Mm_{\varepsilon}=0,028 \cdot D^{1,275} \cdot H^{0,172} \cdot P^{-0,193}$	0,86
31	$Mm_n=3,521 \cdot D^{0,450} \cdot H^{-0,214} \cdot P^{0,165}$	0,74
<b>Тополя тремтяча</b>		
32	$Mm_{\text{сух}}=0,340 \cdot D^{0,241} \cdot H^{0,653} \cdot P^{0,177}$	0,80
33	$Mm_{\text{дл}}=0,017 \cdot D^{-0,130} \cdot H^{1,902} \cdot P^{1,044}$	0,86
34	$Mm_{\varepsilon}=1,505 \cdot D^{3,079} \cdot H^{-2,960} \cdot P^{-0,347}$	0,98
35	$Mm_n=7,197 \cdot D^{0,305} \cdot H^{-0,279} \cdot P^{-0,031}$	0,72

Усього в м'яколистяних лісах Українського Полісся знаходиться 10,4 млн т мортмаси, у тому числі в березняках зосереджено 4,8 млн т, вільшаниках – 5,2 і осичниках – 0,4 млн т органічної рослинної речовини в абсолютно сухому стані. На сухостій і деревну ламань припадає по 22 % загальної мортмаси, а на мортмасу опаду грубих гілок і підстилки – 9 і 47 % відповідно.

Динаміка мортмаси лісу визначалася з урахуванням трьох чинників: накопиченням органічної речовини відмерлих рослин або окремих органів живих організмів, її деструкцією під впливом біотичних, абіотичних та антропогенних факторів та порушеннями (лісові пожежі, пошкодження насаджень шкідниками і хворобами). У процесі розкладання мортмаси лісу зменшується її щільність. Встановлено, що співвідношення базисної щільності мортмаси I–V класів деструкції до щільності фітомаси (100 %) для берези становить 95:86:51:31:19, для вільхи – 99:95:88:47:22, для осики – 93:77:55:35:18.

Динаміка базисної щільності мортмаси залежить від швидкості деструкції, яку визначали на основі експоненціальної залежності (36) (Yatskov M. A. et al., 2003):

$$P_t = P_0 \cdot (e^{-kt}), \quad (36)$$

де  $t$  – час після утворення мортмаси, років;  $P_t$  – залишкова щільність компонента мортмаси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $P_0$  – щільність фітомаси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $k$  – швидкість деструкції мортмаси,  $\text{рік}^{-1}$ .

За результатами досліджень у лісах Чернігівської області, в межах Українського Полісся ( $n=17$ ), для мортмаси (діаметр ( $d$ ) < 30 см) деревної ламані берези повислої за умов В<sub>2</sub>–В<sub>3</sub> встановлено швидкість деструкції, яка може



становити  $k=0,128$  ( $R^2=0,93$ ), а мортмаса пнів розкладається дещо швидше  $k=0,147$  ( $R^2=0,91$ ). Визначено, що деструкція мортмаси (10 см <  $d$  < 30 см) деревної ламані вільхи клейкої ( $n=23$ ) за умов  $C_4-C_5$  може досягати швидкості  $k=0,070$  ( $R^2=0,88$ ), а мортмаси пнів –  $k=0,074$  ( $R^2=0,85$ ). За умов  $C_2-C_3$  деревна ламань тополі тремтячої розкладається зі швидкістю  $k=0,134$  ( $R^2=0,97$ ), а мортмаса пнів втрачає щільність швидше  $k=0,149$  ( $R^2=0,92$ ). Останнє зумовлено активізацією деструкції тканин пнів унаслідок впливу вологи ґрунту.

Біогенна деструкція мортмаси лісу здійснюється в детритному блоці за допомогою специфічних ферментів сапротрофних організмів. Первинними колонізаторами мортмаси та опаду в лісових біогеоценозах є гриби. Порівняно з бактеріями вони характеризуються потужнішим ферментативним апаратом, різноманітнішими фізіологічними функціями, економнішим обміном речовин, що дає їм унікальну можливість найефективніше використовувати найрізноманітніші субстрати (Борисова В. Н., 1988).

У результаті мікологічного аналізу із зразків мортмаси *B. pendula* і *P. tremula* було виділено 62 види грибів різних таксономічних груп. Найбільша кількість грибів (44 види) належала до відділу *Ascomycota*, 12 видів – до *Basidiomycota*. Найменш представленим був *Zygomycota* (6 видів). Серед виділених грибів найбільшою частотою зустрічальності (75–100 %) характеризувались види: *Mucor hiemalis*, *Mucor* sp., *Aspergillus ficuum*, *A. flavus* var. *oryzae*, *A. nidulans*, *Cladosporium herbarum*, *C. orchidis*, *C. sphaerospermum*, *Drechslera biseptata*, *Fusarium equiseti*, *F. solani*, *Penicillium variabile*, *P. verucosum*, *Spadicesporium* sp., *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *Armillariella mellea* і *Phellinus igniarius*. Загалом найбільшу кількість видів грибів виявлено на мортмасі *B. pendula* і *P. tremula* III і IV класів деструкції. Більшість ідентифікованих видів грибів віднесено до аскоміцетів – збудників м'якої гнилі.

**Розділ 6 Екосистемні функції м'яколистяних лісів.** Сутність екосистемних функцій лісів полягає у тому, що вони володіють екосистемними ресурсами, які можна представити у вигляді послуг та товарів. Згідно з запропонованою дослідниками (Groot R. et al., 2002) класифікацією екосистемних функцій, товарів і послуг, м'яколистяним лісам притаманні екосистемні функції регулювання середовища існування, продукування (виробництва) та інформації. Так, м'яколистяні ліси Українського Полісся беруть участь у біогеохімічних циклах, зокрема поглинають й утримують вуглець, виділяють кисень, а також утворюють середовище для існування біоти, виробляють продукти харчування, накопичують енергію в біомасі та представляють собою джерело природної й соціокультурної інформації. У розділі наведено дослідження фізичних показників таких екосистемних функцій, як поглинання й утримування вуглецю в біомасі, виділення кисню березовими, вільховими та осиковими лісами, а також накопичення енергії в компонентах фітомаси і мортмаси лісових екосистем та вмісту радіонуклідів у фітомасі лісів (табл. 8).

За результатами досліджень рослинної біомаси в Українському Поліссі для лісів берези повислої, вільхи клейкої та тополі тремтячої сформовано довідкові таблиці, які дають уяву про обсяги депонованого вуглецю у фітомасі деревини і кори стовбурів, гілок, листя, крон, підліску і підросту та живого надґрунтового покриву, а також у мортмасі сухостою, деревної ламані, опаду грубих гілок і підстилки.

## Досліджувані екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся

Група екосистемних функцій	Екосистемна функція	Екосистемний процес	Фізичний показник
Регулювання	Регулювання газів	Поглинання вуглецю	Запас депонованого вуглецю в рослинній біомасі
		Виділення кисню	Обсяг утвореного кисню з 1 га лісу за рік
	Регулювання радіонуклідів	Накопичення $^{137}\text{Cs}$ та $^{90}\text{Sr}$	Вміст радіонуклідів у фітомасі
Продукування	Утворення сировини	Накопичення біомаси лісів	Запас рослинної біомаси в абсолютно сухому стані
		Накопичення енергії в біомасі	Запас енергії в фітомасі та мортмасі лісу

З віком у м'яколистяних лісах збільшується частка депонованого вуглецю фітомаси, а частка вуглецю мортмаси може становити близько 9–12 % у віці стиглості (рис. 7).

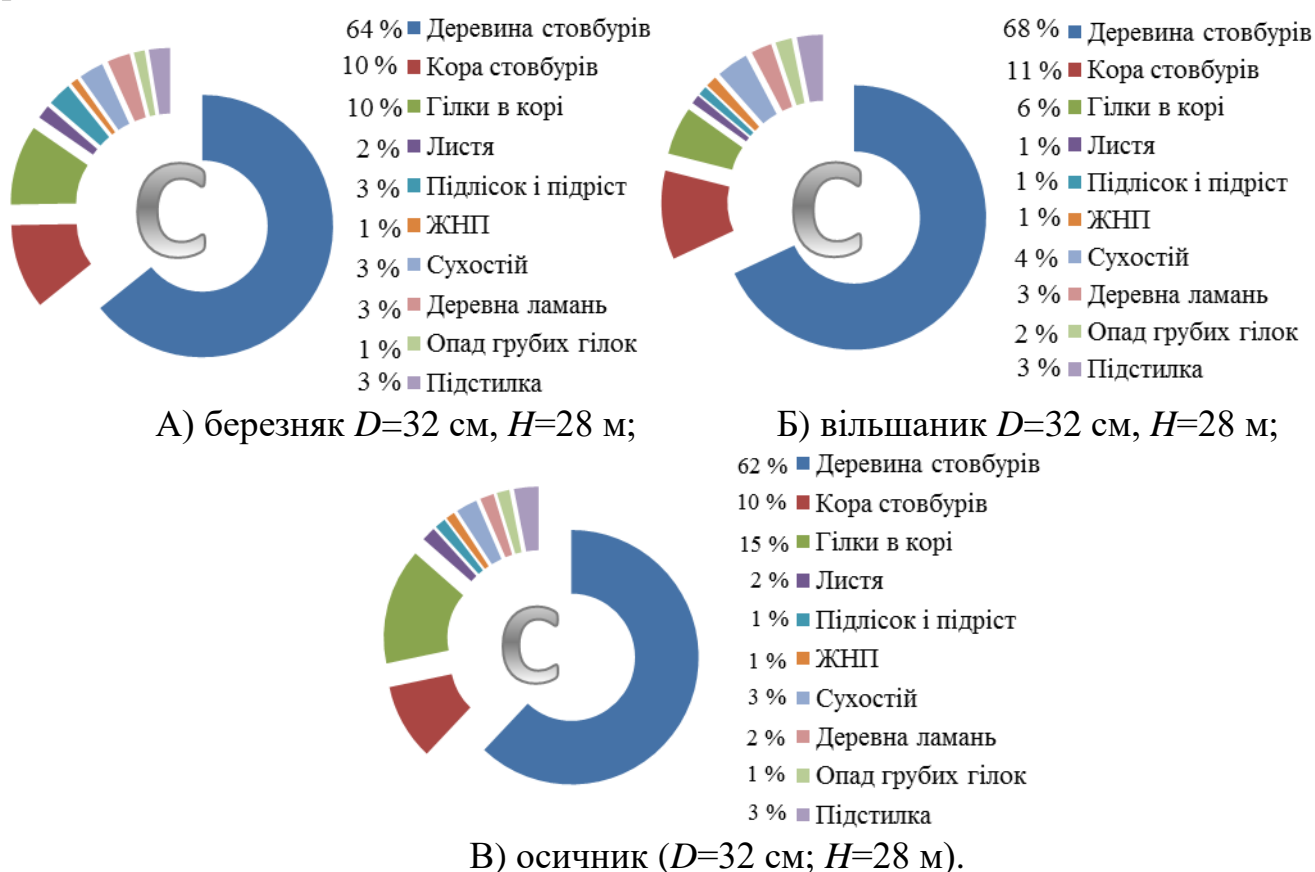


Рис. 7. Структура депонованого вуглецю в біомасі м'яколистяних лісів

Для визначення бюджету вуглецю як моделі інвентаризації його емісії та поглинання ключове теоретичне значення має динаміка депонованого вуглецю та ЧПП (табл. 9). Загалом, в осичниках утворюється більше ЧПП, ніж у березових і вільхових насадженнях.

## Динаміка депонованого вуглецю та ЧПП у м'яколистяних насадженнях Українського Полісся (I клас бонітету)

Вік, років	Депонований в насадженні вуглець, т·га <sup>-1</sup>										Приріст депонованого вуглецю, т·га <sup>-1</sup> ·рік <sup>-1</sup>		Загальна продуктивність депоновання вуглецю, т·га <sup>-1</sup>	Чиста первинна продукція, тС·м <sup>2</sup> ·рік <sup>-1</sup>
	деревостан							підлісок і підріст	живий надгрунтовий покрив	всього	середній	поточний		
	стовбур	у тому числі кора	гілки	листя	всього надземна	коріння	всього							
Модальні березові насадження насінневого походження														
20	15,5	2,4	2,2	0,8	18,5	8,5	26,9	0,4	0,7	28,0	1,4	1,9	74,9	509
40	36,1	5,4	4,9	1,2	42,2	15,6	57,8	0,8	0,8	59,3	1,5	1,1	183,8	544
60	46,6	6,8	6,5	1,3	54,4	18,4	72,8	1,1	1,1	75,0	1,3	0,5	288,4	511
Модальні сосново-березові насадження														
20	16,4	2,6	2,3	0,9	19,5	9,0	28,5	0,4	0,7	29,6	1,5	2,3	71,4	526
40	42,8	6,4	5,8	1,4	50,0	18,5	68,5	0,8	0,8	70,1	1,8	1,5	191,4	615
60	57,6	8,4	8,0	1,6	67,2	22,8	90,0	1,1	1,1	92,2	1,5	0,8	311,2	588
Модальні вільхові насадження порослевого походження														
20	31,5	4,4	3,7	1,3	36,5	10,5	47,0	0,3	0,7	48,0	2,4	2,2	102,1	611
40	55,8	7,7	5,3	1,3	62,4	15,6	78,0	0,5	1,1	79,5	2,0	1,1	221,2	572
60	67,6	9,2	5,9	1,1	74,6	17,6	92,2	0,7	1,4	94,4	1,6	0,5	327,0	501
Модальні осикові насадження порослевого походження														
20	24,8	3,7	5,5	1,3	31,6	12,1	43,7	0,6	0,8	45,1	2,3	2,7	115,3	774
40	56,7	7,9	11,7	1,8	70,2	22,2	92,4	1,0	0,9	94,3	2,4	2,1	281,6	838
60	80,4	10,8	16,7	1,9	99,0	27,8	126,7	1,4	1,0	129,2	2,2	1,4	443,3	786

На основі розроблених моделей динаміки вуглецю м'яколистяних лісів та моделей, отриманих для насаджень інших лісотвірних видів (Швиденко А. З. и др., 2008), визначено загальний обсяг депонованого вуглецю у фітомасі лісів Українського Полісся (226,39 Тг С), з них: 68 % накопичено в фітомасі стовбурів у корі, 8 % – гілках, 2 % – листі (хвої), 19 % – коренях та 3 % – підліску та ЖНП. У надземній фітомасі накопичено близько 81 % загального обсягу вуглецю. Основна частка вуглецю депонована у фітомасі хвойних насаджень (68 %), а в м'яколистяних лісах накопичено понад 20 % загального обсягу вуглецю (табл. 10). Відповідно, у фітомасі твердолистяних насаджень міститься близько 12 % депонованого вуглецю.

Таблиця 10

#### Депонований вуглець у фітомасі м'яколистяних лісів Українського Полісся

Вид	Депонований вуглець у компонентах фітомаси, Тг С								
	стовбури у корі	у тому числі кора	гілки у корі	хвоя (листя)	корені	підлісок і підріст	ЖНП	разом	у тому числі надземна
Береза повисла	16,38	2,41	2,05	0,52	6,40	0,32	0,38	26,05	19,65
Вільха клейка	11,45	1,53	0,91	0,24	3,16	0,20	0,21	16,17	13,01
Тополя тремтяча	1,23	0,17	0,22	0,03	0,45	0,02	0,03	1,98	1,53

У надземній мортмасі м'яколистяних лісів Українського Полісся накопичено 4,57 Тг С, з яких майже 26 % міститься в мортмасі сухостою, 24 % – деревній ламані, 11 % – опаді грубих гілок та 39 % – мортмасі підстилки (табл. 11).

Таблиця 11

#### Депонований вуглець у мортмасі м'яколистяних лісів

Вид	Депонований вуглець у компонентах мортмаси, Тг С				
	сухостій	деревна ламань	опад грубих гілок	підстилка	усього
Береза повисла	0,52	0,49	0,11	0,94	2,06
Вільха клейка	0,59	0,60	0,35	0,78	2,32
Тополя тремтяча	0,06	0,03	0,02	0,08	0,19

Киснепродукування відносять до недостатньо досліджених функцій лісу і є похідною процесу фотосинтезу його компонентів: деревостану, підліску і підросту та ЖНП. Теоретико-методологічні основи дослідження рослинної біомаси м'яколистяних лісів дозволяють визначити киснепродуктивність за наявним запасом та загальною продуктивністю.

Базуючись на кількісних параметрах поточного приросту фітомаси та ЧПП м'яколистяних насаджень різної продуктивності, розроблено нормативно-довідкові

таблиці динаміки киснепродуктивності модальних насінневих березових і сосново-березових та порослевих вільхових і осикових насаджень І<sup>c</sup>–IV класів бонітету (табл. 12).

Таблиця 12

### Киснепродуктивність м'яколистяних лісів

Вік, років	Киснепродуктивність (за класами бонітету), т·га <sup>-1</sup> ·рік <sup>-1</sup>													
	за наявним запасом							за загальною продуктивністю						
	I <sup>c</sup>	I <sup>b</sup>	I <sup>a</sup>	I	II	III	IV	I <sup>c</sup>	I <sup>b</sup>	I <sup>a</sup>	I	II	III	IV
Модальні березові насадження														
15	7,4	6,8	6,1	5,3	4,5	3,6	2,7	16,3	15,4	14,3	13,0	11,5	9,9	8,2
75	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	15,3	15,4	15,2	14,8	14,1	13,2	11,9
Модальні сосново-березові насадження														
15	8,8	7,9	6,9	5,9	4,9	3,8	2,8	17,0	15,8	14,3	12,8	11,1	9,3	7,5
75	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7	18,8	18,5	17,8	16,9	15,7	14,2	12,4
Модальні вільхові насадження														
15	11,5	10,0	8,5	7,1	5,7	4,4	3,1	22,7	21,2	19,3	17,2	14,8	12,3	9,7
75	1,4	1,1	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	14,1	14,4	14,3	13,9	13,1	12,1	10,6
Модальні осикові насадження														
15	11,1	10,0	8,9	7,6	6,4	5,2	4,0	26,5	24,8	22,7	20,4	17,9	15,2	12,5
75	4,3	3,8	3,4	2,9	2,5	2,0	1,6	24,5	24,2	23,5	22,3	20,7	18,8	16,5

Загальна киснепродуктивність лісів Українського Полісся становить 43,07 млн т·рік<sup>-1</sup>, у тому числі соснові насадження продукують 59 %, березові – 15 %, дубові – 12 %, вільхові – 9 %, осикові – 2 % та інші ліси – 3 % від загального обсягу утвореного кисню. Чиста киснепродуктивність березняків становить 6,6 т·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, вільшаників – 5,0 та осичників – 11,9 т·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>.

В Україні (станом на 01.01.1993 р.) було забруднено понад 1,2 млн га лісів, з них 92,7 % – в областях, території яких входять до Українського Полісся (Надточій П. П., 2003). Радіонукліди, які потрапили в лісові біогеоценози, за досить короткий проміжок часу мігрували практично в усі компоненти екосистем.

Біогенні потоки <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr в лісових екосистемах в основному залежать від щільності забруднення радіонуклідами ґрунту, його типу, лісорослинних умов, властивостей деревних видів, біорізноманіття, структури насаджень, особливостей їх росту і розвитку, процесів накопичення фітомаси, утворення і розкладання мортмаси, у тому числі підстилки.

Для визначення динаміки вмісту <sup>137</sup>Cs у компонентах фітомаси м'яколистяних деревостанів використано моделі їхньої біопродуктивності та коефіцієнти переходу (перерозподілу) радіонуклідів із ґрунту в компоненти фітомаси, отримані А. Н. Переволоцким (2006) та С. И. Спиридоновим (2003) для *B. pendula*, О. О. Орловим (2013) для *A. glutinosa* та В. П. Красновим (1998) для *P. tremula*. З метою встановлення динаміки вмісту <sup>90</sup>Sr в компонентах фітомаси аналогічних деревостанів використано дані М. М. Давидова та ін. (2014) для *B. pendula* та

міжнародні рекомендації (ІАЕА, 2010) для *A. glutinosa* та *P. tremula*. Використання відповідних коефіцієнтів переходу радіонуклідів було експериментально підтверджено на основі відбору і дослідження зразків деревини стовбурів і ґрунту. Базуючись на цих даних, розроблено таблиці динаміки вмісту  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах фітомаси м'яколистяних деревостанів, встановлено обсяги переходу  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в 1 кг компонентів фітомаси, а також укладено нормативно-довідкові таблиці динаміки вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в 1 кг фітомаси стовбурів у корі *B. pendula*, *A. glutinosa* та *P. tremula*.

Потужним відновним джерелом енергії є лісові екосистеми. Збалансоване й науково-обґрунтоване використання рослинної біомаси лісів у районах зі значними її запасами для задоволення енергетичних потреб може стати альтернативним варіантом до використання викопних енергетичних ресурсів.

На основі експериментальних досліджень якісних параметрів фітомаси м'яколистяних видів встановлено енергоємність деревини, кори та деревини в корі стовбурів і гілок берези повислої, вільхи клейкої й тополі тремтячої (осики), а для автохтонних верб визначено енергоємність фітомаси пагонів. Загальний уміст енергії в рослинній біомасі м'яколистяних лісів Українського Полісся становить 1891 ПДж, з них 91 % сконцентровано у фітомасі лісів (табл. 13).

Таблиця 13

### Енергія біомаси м'яколистяних лісів Українського Полісся

Вміст енергії	Адміністративна область						Українське Полісся
	Волинська	Рівненська	Житомирська	Київська	Чернігівська	Сумська	
Березові насадження							
Вміст енергії у фітомасі, ПДж	141,6	182,4	373,8	110,5	183,4	25,7	1017,3
Вміст енергії у мортмасі, ПДж	11,5	13,2	25,9	8,0	13,0	1,8	73,4
Вільхові насадження							
Вміст енергії у фітомасі, ПДж	217,4	117,3	138,7	49,0	101,2	9,7	633,3
Вміст енергії у мортмасі, ПДж	30,5	15,4	17,4	6,0	12,5	1,3	83,1
Осикові насадження							
Вміст енергії у фітомасі, ПДж	3,6	4,6	21,1	6,8	36,8	3,9	76,8
Вміст енергії у мортмасі, ПДж	0,4	0,5	2,0	0,7	3,3	0,3	7,2

В Українському Поліссі основна частка енергії (59 %) зосереджена у фітомасі насаджень берези повислої, у фітомасі вільхи клейкої міститься 37 % і тополі тремтячої – 4 % загальної енергії фітомаси м'яколистяних лісів. З позиції раціонального використання енергетичного потенціалу лісів Українського Полісся доцільно розглянути можливості використання мортмаси сухостійних дерев та деревної ламані для отримання біопалива.

## ВИСНОВКИ

З узагальнення основних результатів дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів та їх екосистемних функцій в Українському Поліссі випливають такі висновки:

1. Науковим дослідженням біопродуктивності лісів протягом останніх двох десятиліть притаманне застосування системного аналізу, інформаційних, дистанційних та геоінформаційних технологій для реалізації теоретико-методологічних засад експериментальної роботи й орієнтація на комплексність вирішення проблем раціонального природокористування. Результати дослідження біопродуктивності лісів є експериментальною основою для пізнання екосистемних функцій та ресурсно-енергетичного потенціалу лісів.

2. У структурі сучасного лісового фонду Українського Полісся третину займають м'яколистяні ліси, серед яких переважають вегетативні за походженням, мішані за складом, високопродуктивні і середньоповнотні насадження берези повислої, вільхи клейкої та тополі тремтячої. У таких насадженнях фітомаса стовбурів інтенсивно накопичується до 60-річного віку, після чого цей процес дещо уповільнюється. Динаміка фітомаси гілок березняків і вільшаників має тенденцію інтенсивного зростання до 30–40-річного віку, а в осичниках цей процес відзначається відносно стрімким зростанням навіть у стиглих та перестійних деревостанах. Фітомаса листя збільшується у вільшаниках до 20–30-річного віку, а потім суттєво зменшується. Подібну тенденцію виявлено в осичниках, де фітомаса листя збільшується до 50–60-річного віку, а потім дещо зменшується. Динаміці фітомаси листя у березняках притаманне інтенсивне збільшення до 40–50-річного віку та стабільність її значень у подальшому рості. Фітомаса підліску і підросту березняків, вільшаників та осичників збільшується протягом усього періоду росту насаджень. Динаміці ЖНП м'яколистяних лісів характерне поступове збільшення фітомаси у пристигаючих і стиглих насадженнях, що пов'язано з природним зрідженням деревостанів та ажурністю крон дерев.

3. Загальна фітомаса м'яколистяних лісів Українського Полісся становить понад 89,5 млн т, що дорівнює 19,6 % загального обсягу фітомаси насаджень усіх лісотвірних видів. У структурі останньої фітомаса березняків займає 12 %, вільшаників – 7 % та осичників – майже 1 %.

4. Встановлено, що м'яколистяні ліси Українського Полісся продукують близько  $4,0 \text{ Тг С} \cdot \text{рік}^{-1}$  ЧПП, що становить 27 % загального обсягу ЧПП усіх лісів. Розподіл ЧПП за компонентами фітомаси лісів Українського Полісся є типовим для помірної зони. Так, 27 % загального обсягу ЧПП зосереджено в стовбурах, 31 % – коріннях, 16 % – листі (хвої) та 6 % – гілках. Вагома частка ЧПП належить підліску (5 %) та живому надґрунтовому покриву (15 %). Середні значення щільності ЧПП лісів Українського Полісся різних деревних видів змінюється від 440 до  $891 \text{ гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$ .

5. Для визначення середніх значень та загальних запасів фітомаси чистих за складом м'яколистяних лісів (на площах понад 100 га) в Українському Поліссі можна ефективно застосовувати k-NN-метод класифікації даних космічних знімків із

використанням канонічного кореляційного аналізу (*MSN*) за  $k=4$ . Найкращий результат класифікації даних ДЗЗ можна досягнути за умови застосування моделі *randomForest*, яка містить координати, цифрову модель рельєфу та результати наземних досліджень лісів.

6. Доведено, що при дослідженнях екосистемних функцій лісів необхідно здійснювати облік як грубого деревного детриту, так і опадів гілок і листя. У м'яколистяних лісах протягом перших років існування деревостанів утворюється, насамперед, мортмаса підстилки. Мортмаса сухостою, деревної ламані та опадів грубих гілок у м'яколистяних лісах, як правило, починає активно формуватися після 10–20-річного віку. Протягом всього періоду росту і розвитку м'яколистяних лісів мортмаса сухостою, деревної ламані, грубих гілок і підстилки збільшується, окрім підстилки березняків, яка в стиглих лісах має менші значення порівняно з молодняками. У структурі загальної мортмаси м'яколистяних молодняків основну частку становить опад листя і дрібних гілок підстилки, проте, з віком, частка мортмаси підстилки зменшується, а частка інших компонентів мортмаси збільшується.

7. Передумови до утворення мортмаси в лісах формуються, як правило, внаслідок комплексної дії біотичних, абіотичних та антропогенних факторів за безумовного переважання перших. Вирішальну роль в утворенні конкретного компонента мортмаси в лісах відіграють, в основному, біотичні чинники, рідше абіотичні та, поодинокі, антропогенні. Основна частина деревної ламані та опадів грубих гілок (III–IV класів деструкції) утворюється під впливом природного процесу деструкції сухостійних дерев та очищення стовбурів від гілок, а мортмаса I–II класів деструкції цих компонентів утворюється, зазвичай, внаслідок дії абіотичних чинників. У загальній мортмасі деревної ламані м'яколистяних лісів пни мають частку до 2 %, а залишки (втрати) деревини після господарських заходів не перевищують 1 %.

8. Наявність мортмаси різних класів деструкції у м'яколистяних лісах забезпечує біорізноманіття мікобіоти. Найбільша кількість видів мікобіоти у березових та осикових лісах характерна для мортмаси III–IV класів деструкції.

9. Загальна надземна мортмаса модальних лісів збільшується від  $6 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у молодняках до  $30 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у стиглих насадженнях берези повислої, від  $5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у молодняках до  $26 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у стиглих насадженнях вільхи клейкої та від  $8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у молодняках до  $25 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  – у стиглих осикових насадженнях. Найменш мінливим компонентом мортмаси м'яколистяних лісів є лісова підстилка. В її структурі основну частку займає опад листя, а опад дрібних гілок утворює майже чверть мортмаси підстилки в березняках та осичниках і третину – у вільшаниках. У березових молодняках обсяг мортмаси сухих гілок дерев, що зростають, може перевищувати мортмасу сухостійних дерев та становити понад 2,4 %, а з віком її частка може зменшуватися до 1,0 % фітомаси стовбурів у корі. В Українському Поліссі середня щільність мортмаси на площі у вільшаниках ( $1,67 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ ) та в осичниках ( $1,66 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ ) суттєво перевищує щільність мортмаси в березняках ( $1,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ ), що зумовлено особливістю лісорослинних умов, диспропорцією у віковій структурі та різною інтенсивністю ведення господарської діяльності в м'яколистяних лісах різного складу.



10. Під час лісовпорядкування обліковують лише до 2 % загальної мортмаси м'яколистяних лісів Українського Полісся. Загалом в цих лісах зосереджено 10,4 млн т мортмаси, у тому числі в березняках її знаходиться 46 %, вільшаниках – 50 %, осичниках – 4 %. Сухостій і деревна ламань становить по 22 % загальної мортмаси, а мортмаса опаду грубих гілок і підстилки – 9 і 47 % відповідно.

11. За умов Українського Полісся швидкість деструкції мортмаси деревної ламані *B. pendula* становить  $k=0,128$ , а загальний термін деструкції грубого деревного детриту берези повислої сягає 28–35 років. Деревна ламань *A. glutinosa* розкладається протягом 35–50 років зі швидкістю  $k=0,070$ . Мортмаса деревної ламані *P. tremula* розкладається протягом 24–30 років ( $k=0,134$ ), а мортмаса пнів – значно швидше інших компонентів деревної ламані. Так, мортмаса пнів берези розкладається зі швидкістю  $k=0,147$ , вільхи – зі швидкістю  $k=0,074$ , а тополі тремтячої – зі швидкістю  $k=0,149$ .

12. У фітомасі м'яколистяних лісів міститься основна частка депонованого вуглецю рослинної біомаси. Обсяг вуглецю в надземній рослинній біомасі м'яколистяних лісів змінюється від  $15 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  у молодняках до  $120 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  в стиглих насадженнях. Структура депонованого вуглецю молодняків складається на 80–85 % з вуглецю фітомаси і 15–20 % з вуглецю мортмаси насадження. До віку стиглості структура депонованого вуглецю змінюється: частка вуглецю стовбурів у корі збільшується, а частка вуглецю компонентів фітомаси крон, ЖНП, підліску і підросту та мортмаси зменшується. У фітомасі лісів Українського Полісся накопичено 226,39 Тг С, з них 68 % сконцентровано у фітомасі стовбурів у корі, 8 % – гілках, 2 % – листі (хвої), 19 % – коренях та 3 % – підліску та ЖНП. У фітомасі м'яколистяних насаджень накопичено майже 20 % загального обсягу вуглецю лісів. Мортмаса має важливу роль у депонуванні вуглецю в березняках, вільшаниках і осичниках. У надземній мортмасі м'яколистяних лісів Українського Полісся накопичено 4,57 Тг С, з яких майже 45 % зосереджено в березняках, 51 % – вільшаниках та 4 % – осичниках. Основну частку вуглецю мортмаси м'яколистяних лісів містить мортмаса підстилки (39 %), сухостою (26 %) та деревної ламані (25 %). В опаді грубих гілок міститься 10 % загального обсягу вуглецю.

13. Рослинна біомаса м'яколистяних лісів є важливим пулом вуглецю Українського Полісся. В ній накопичено 48,77 Тг С, у тому числі у фітомасі – 44,20 Тг С. Найвищу щільність вуглецю встановлено в осичниках ( $7,36 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ ), а в березняках і вільшаниках вона менша на 13,2 та 18,9 % відповідно.

14. Визначено, що загальна киснепродуктивність лісів Українського Полісся становить  $43,07 \text{ млн т} \cdot \text{рік}^{-1}$ , з них: березові ліси продукують 15 %, клейковільхові – 9 %, осикові – 2 % кисню. Найбільшою інтенсивністю киснепродукування характеризуються ліси тополі тремтячої ( $26,2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$ ).

15. За результатами дослідження закономірностей накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі деревних видів встановлено інтенсивніший перехід радіонуклідів за умов  $\text{C}_3$  з ґрунту в деревину *A. glutinosa*, менш інтенсивний – в деревину *B. pendula* і найменший серед дослідних видів перехід  $^{137}\text{Cs}$  визначено в *P. tremula*. Найбільшу інтенсивність переходу  $^{90}\text{Sr}$  з ґрунту в фітомасу деревини стовбурів було встановлено для *B. pendula*, а найменшу – для *A. glutinosa*. Загальний вміст  $^{137}\text{Cs}$  в фітомасі деревини стовбурів, кори і листя 60-річних деревостанів *B. pendula* (І класу

бонітету) за умов  $C_3-C_4$  може становити  $27,4 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$  за щільності забруднення ґрунту  $259 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ . В аналогічних за віком, продуктивністю і ТЛУ деревостанах *A. glutinosa* вміст  $^{137}\text{Cs}$  може становити  $190,1 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$ , а в деревостанах *P. tremula* –  $57,4 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$ . За щільності забруднення ґрунту в  $10 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$  загальне накопичення  $^{90}\text{Sr}$  у фітомасі деревини і листя 60-річних насаджень (I класу бонітету) може становити для *B. pendula*  $15,1 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$ , *A. glutinosa* –  $1,3 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$  та *P. tremula* –  $3,0 \text{ МБк}\cdot\text{га}^{-1}$ .

16. Обмеження можливостей використання фітомаси стовбурів у корі берези повислої і тополі тремтячої для енергетичних потреб та виробництва деяких видів лісопродукції може бути в зонах високого забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  (2в та 1), а фітомасу стовбурів у корі вільхи клейкої за таких умов узагалі не можна використовувати. Останню для енергетичних цілей можна використовувати лише в разі забруднення  $^{137}\text{Cs}$  ґрунту до  $125 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ .

17. Виконані комплексні дослідження загального обсягу накопиченої енергії в рослинній біомасі м'яколистяних лісів свідчать, що він становить 1891 ПДж, у тому числі вміст енергії в загальній фітомасі – 1728 ПДж, з них у надземній фітомасі – 1223 ПДж. У фітомасі насаджень берези повислої міститься 59 % загальної енергії фітомаси м'яколистяних лісів, а енергія фітомаси вільшаників та осичників становить відповідно 37 та 4 %. У надземній мортмасі березняків, вільшаників і осичників міститься 163,7 ПДж, у тому числі 81,5 ПДж (2,8 млн т умовного палива) зосереджено в мортмасі сухостою та деревної ламані, які можна використати для біоенергетики.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За результатами вирішення прикладних завдань дослідження сформульовано основні **рекомендації виробництву** та запропоновано для практичного використання методики оцінювання мортмаси насаджень і фітомаси кущів верб, методичні підходи до застосування даних ДЗЗ для дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів, а також комплекс нормативно-довідкових матеріалів для оцінювання росту, біопродуктивності, енергопродуктивності, киснепродуктивності, динаміки депонованого вуглецю та вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах фітомаси м'яколистяних деревостанів, зокрема:

- нормативно-довідкові матеріали для визначення загальної фітомаси кущів верби попелястої, тритичинкової, п'ятитичинкової і козячої;
- таблиці ходу росту модальних насінневих березових і сосново-березових деревостанів та порослевих вільхових й осикових деревостанів;
- таблиці динаміки біопродуктивності модальних м'яколистяних лісів;
- нормативно-довідкові матеріали для оцінювання компонентів фітомаси деревостанів, нижніх ярусів насаджень, мортмаси сухостою, деревної ламані, опаді грубих гілок і підстилки, а також загальної рослинної біомаси м'яколистяних лісів;
- таблиці динаміки депонованого вуглецю, його середнього і поточного приростів та чистої первинної продукції в модальних березових, сосново-березових, вільхових і осикових насадженнях;
- таблиці динаміки киснепродуктивності м'яколистяних лісів;

– таблиці вмісту  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах фітомаси м'яколистяних насаджень, переходу  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в 1 кг фітомаси дерев м'яколистяних видів за різної щільності забруднення ґрунту, а також таблиці вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в 1 кг фітомаси стовбурів у корі берези повислої, вільхи клейкої і тополі тремтячої;

– таблиці динаміки енергоємності компонентів фітомаси насаджень, середнього і поточного приростів енергії та загальної енергопродуктивності березняків, вільшаників та осичників.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Монографія

1. Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся: монографія / [Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Матушевич Л. М., Макаручук Я. І.] – Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В. М., 2012. – 454 с. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, відбір та обробку експериментальних матеріалів, розроблено математичні моделі та створено нормативно-довідкові матеріали для оцінювання біопродуктивності м'яколистяних лісів, зроблено узагальнення та висновки).*

### Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Домашовець Г. С. Фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів Львівщини / Г. С. Домашовець, А. М. Білоус // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво і декоративне садівництво. – 2010. – Вип. 147. – С. 215–222. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналіз лісового фонду Львівщини, створено математичні моделі та зроблено висновки).*

3. Нормативне забезпечення оцінки компонентів фітомаси осики для біотехнічних заходів / [Лакида П. І., Білоус А. М., Сагайдак А. В., Гірс О. А.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво і декоративне садівництво. – 2010. – Вип. 152. – Ч. 2. – С. 81–86. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд і постановку проблеми, створено нормативні таблиці).*

4. Білоус А. М. Енергетичний потенціал осикових деревостанів Східного Полісся України: [електронний ресурс] / А. М. Білоус // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – № 5 (21). – Режим доступу: <http://nd.nubip.edu.ua/2010-5/10bameru.pdf>.

5. Оцінка вмісту енергії у фітомасі дерев м'яколистяних порід Українського Полісся / [Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Матушевич Л. М.] // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2011. – Вип. 9. – С. 121–124. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, встановлено запаси енергії в фітомасі дерев та узагальнено висновки).*

6. Експериментальна база даних оцінки біологічної продуктивності м'яколистяних деревостанів Полісся України / [Лакида П. І., Матушевич Л. М., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Блищик В. І., Случик І. С.] // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2011. – Вип. 118. – С. 81–90. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, збір та обробку даних, сформовано базу дослідної інформації).*

7. Оцінка запасів енергії м'яких листяних деревостанів Полісся України / [Лакида П. І., Білоус А. М., Васишин Р. Д., Матушевич Л. М.] // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2011. – Вип. 21.6. – С. 8–15. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, визначено запаси енергії в фітомасі деревостанів, узагальнено висновки).*

8. Хід росту чистих модальних деревостанів м'яколистяних порід Полісся України: [електронний ресурс] / [Лакида П. І., Білоус А. М., Васишин Р. Д., Терентьев А. Ю., Атаманчук Р. В.] // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 1 (23). – Режим доступу: <http://nd.nubip.edu.ua/2011-1/11pisup.pdf>. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, моделювання динаміки таксаційних показників деревостанів, сформовано висновки).*

9. Білоус А. М. Лісотаксаційні особливості молодняків м'яколистяних порід у Поліссі України: [електронний ресурс] / А. М. Білоус, О. І. Слива // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 5 (27). – Режим доступу: [http://nd.nubip.edu.ua/2011\\_5/11bam.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2011_5/11bam.pdf). *(Здобувачем проаналізовано лісівничо-таксаційну структуру молодняків, узагальнено висновки).*

10. Білоус А. М. Лісотаксаційні особливості лісів м'яколистяних порід в Українському Поліссі: [електронний ресурс] / А. М. Білоус // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 7 (29). – Режим доступу: [http://nd.nubip.edu.ua/2011\\_7/11bam.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2011_7/11bam.pdf).

11. Біотична та енергетична продуктивність м'яколистяних лісів Полісся України / [Лакида П. І., Білоус А. М., Васишин Р. Д., Гірс О. А.] // Біоресурси і природокористування. – 2011. – Т. 3. – № 1–2. – С. 122–133. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, моделювання біопродуктивності насаджень, розроблено нормативи, узагальнено висновки).*

12. Оцінка і прогноз динаміки стовбурної продукції деревостанів вільхи клейкої у Західному Поліссі України / [Лакида П. І., Блищик В. І., Білоус А. М., Матушевич Л. М.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. – 2011. – Вип. 164. – Ч. 1. – С. 60–68. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, збір та обробку експериментальних даних).*

13. Білоус А. М. Оцінка фітомаси живого надґрунтового покриву березняків Чернігівського Полісся / А. М. Білоус, Я. В. Ковбаса // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. – 2012. – Вип. 171. – Ч. 3. – С. 11–15. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, розроблено методичні підходи, проведено збір та обробку даних, сформовано висновки).*

14. Білоус А. М. Методичні особливості дослідження надземної фітомаси чагарникових верб у природних фітоценозах / А. М. Білоус, Д. М. Голяка, О. О. Аврамчук // Біоресурси і природокористування. – 2012. – Т. 4. – № 5–6. – С. 112–115. *(Здобувачем розроблено методичні підходи до оцінювання надземної фітомаси кущів верб, узагальнено висновки).*

15. Білоус А. М. Запас сухостою і захаращеності м'яколистяних лісів Українського Полісся: [електронний ресурс] / А. М. Білоус // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2013. –

№ 4 (40). – Режим доступу: [http://nd.nubip.edu.ua/2013\\_4/14.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2013_4/14.pdf).

16. Білоус А. М. Структура депонованого вуглецю вільхових лісів Українського Полісся / А. М. Білоус // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2015. – Вип. 25.1. – С. 31–36.

17. Аврамчук О. О. Оцінювання мортмаси підстилки соснових лісів Київського Полісся / О. О. Аврамчук, **А. М. Білоус** // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2015. – Вип. 25.3. – С. 50–55. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи до оцінювання мортмаси підстилки, узагальнено висновки).*

**Статті у наукових фахових виданнях України,  
включених до міжнародних наукометричних баз даних**

18. Білоус А. М. Особливості дешифрування видового складу лісів Східного Полісся України на основі космічних знімків GeoEye / **А. М. Білоус**, О. В. Алексін // Біоресурси і природокористування. – 2013. – Т. 5. – № 1–2. – С. 94–101. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, визначено особливості дешифрування видового складу лісів, узагальнено висновки).*

19. Голяка Д. М. Експериментальна база даних оцінки надземної фітомаси верби попелястої (*Salix cinerea* L.) у природних фітоценозах Чернігівського Полісся / Д. М. Голяка, **А. М. Білоус**, О. О. Аврамчук // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2013. – Вип. 23.1. – С. 44–48. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір та обробку експериментальних даних, сформовано базу дослідних даних).*

20. Білоус А. М. Якісні показники надземної фітомаси верби попелястої (*Salix cinerea* L.) у природних фітоценозах Чернігівського Полісся / **А. М. Білоус**, Д. М. Голяка // Біоресурси і природокористування. – 2013. – Т. 5. – № 3–4. – С. 131–136. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір і обробку експериментальних даних, узагальнено висновки).*

21. Біотична продуктивність лісів України в Європейському екоресурсному вимірі / [Лакида П. І., Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г., Василюшин Р. Д., **Білоус А. М.**, Лакида І. П., Матушевич Л. М.] // Біоресурси і природокористування. – 2013. – Т. 5. – № 5–6. – С. 99–106. *(Здобувачем встановлено біопродуктивність м'яколистяних лісів, узагальнено висновки).*

22. Голяка Д. М. Нормативне забезпечення процесу оцінювання компонентів фітомаси кущів *Salix cinerea* L. для біотехнічних заходів / Д. М. Голяка, **А. М. Білоус** // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2014. – Вип. 24.2. – С. 39–45. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено нормативні таблиці, узагальнено висновки).*

23. Білоус А. М. Оцінка мортмаси сухостою березових лісів Східного Полісся України / **А. М. Білоус**, Я. В. Ковбаса, М. А. Бузиль // Біоресурси і природокористування. – 2014. – Т. 6. – № 1–2. – С. 125–130. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено моделі для оцінювання мортмаси сухостою, узагальнено висновки).*

24. Білоус А. М. Методика дослідження мортмаси лісів / А. М. Білоус // Біоресурси і природокористування. – 2014. – Т. 6. – № 3–4. – С. 134–145.

25. Білоус А. М. Оцінка мортмаси деревної ламані березняків Українського Полісся / А. М. Білоус // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2014. – Вип. 24.7. – С. 25–31.

26. Білоус А. М. Оцінка мортмаси опадів гілок у березових насадженнях Українського Полісся / А. М. Білоус // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2014. – Вип. 24.8. – С. 25–30.

27. Білоус А. М. Моделювання мортмаси сухою осикових лісів Українського Полісся / А. М. Білоус // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2014. – Вип. 24.9. – С. 45–50.

28. Білоус А. М. Моделювання мортмаси сухою вільшаників Українського Полісся / А. М. Білоус // Біоресурси і природокористування. – 2014. – Т. 6. – № 5–6. – С. 105–109.

29. Білоус А. М. Методичні особливості дослідження мортмаси березових лісів Полісся України / А. М. Білоус, Я. В. Ковбаса // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. – 2014. – Вип. 198. – Ч. 2. – С. 31–37. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи до оцінювання мортмаси).*

30. Білоус А. М. Розроблення моделей для оцінки мортмаси деревної ламані осикових лісів Українського Полісся / А. М. Білоус // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2014. – Вип. 24.10. – С. 23–28.

#### **Статті у наукових виданнях інших держав:**

31. Белоус А. Оценка надземной фитомассы *Salix cinerea* L. в естественных фитоценозах Украинского Полесья / А. Белоус, Д. Голяка // *Miskininkyste*. – 2013. – № 2 (74). – Р. 48–55. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, збір та обробку експериментальних даних, розроблено моделі та нормативні матеріали для оцінювання фітомаси кущів верб, узагальнено висновки).*

32. Белоус А. Оценка фитомассы мягколиственных древостоев Украинского Полесья / А. Белоус // *Miskininkyste*. – 2014. – № 1 (75). – Р. 53–60.

33. Bilous A. M. Assessment phytomass and carbon of tress in softwood broadleaves forests of Ukrainian Polissia / А. М. Bilous // *Annals of agrarian science*. – 2014. – Vol. 12. – No. 4. – Р. 1–13.

#### **Статті у наукових виданнях України,**

##### **включених до міжнародних наукометричних баз даних:**

34. Особливості формування мікобіоти мортмаси м'яколистяних молодняків на староорних землях Чернігівського Полісся / [Білоус А. М., Волощук Н. М., Бузиль М. А., Ковбаса Я. В.] // Мікробіологічний журнал. – 2013. – Т. 75. – № 6. – С. 59–65. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, відбір експериментальних матеріалів, підготовлено висновки).*

35. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в древесине на южном топливном следе Чернобыльских радиоактивных выпадений / [Отрешко Л. Н., Журба М. А., Білоус А. М., Йощенко Л. В.] // Ядерна фізика та енергетика. – 2015. – Т. 16. – № 2. – С. 183–192. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, відбір експериментальних матеріалів, зроблено висновки).*

### Статті в інших наукових виданнях:

36. Особливості формування продукції стовбурової деревини у березових деревостанах Чернігівського Полісся / [Лакида П. І., Білоус А. М., Матушевич Л. М., Случик І. С., Сорока М. Г.] // Лісовий журнал. – 2011. – Вип. 1. – С. 36–38. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, збір і обробку експериментальних даних, узагальнено висновки).*

37. Bioproductivity of Ukrainian forests in conditions of global climate change: [electronic resource] / [Lakyda P., Vasylyshyn R., Zibtsev S., Bilous A., Lakyda I.] // Earth Bioresources and Life Quality. – International Scientific Electronic Journal. – 2013. – Vol. 3 – Web access: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/154/118>. *(Здобувачем опрацьовано методичні підходи, здійснено оцінювання лісової біомаси в Україні та написання статті, зроблено узагальнення та висновки).*

### Патенти та авторські свідоцтва:

38. Патент на корисну модель №94394 Україна, МПК (2014.01) A01G 23/00. Спосіб оцінки мортмаси сухостійних дерев / Білоус А. М.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u 2014 06107; заявл. 03.06.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21.

39. Патент на корисну модель №94393 Україна, МПК (2014.01) A01G 23/00 A01H 4/00. Спосіб оцінки мортмаси деревної ламані / Білоус А. М.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u 2014 06106; заявл. 03.06.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21.

40. Патент на корисну модель №95020 Україна, МПК (2014.01) A01H 4/00 A01H 4/00. Спосіб оцінки компонентів надземної фітомаси кущів чагарникових верб / Білоус А. М., Голяка Д. М.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u 2014 06572; заявл. 12.06.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено елементи способу оцінювання фітомаси кущів автохтонних верб).*

41. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 58323 від 27.01.2015 р. «Методика оцінки надземної мортмаси лісу» / Білоус А. М.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № 58685; заявл. 28.11.2014.

42. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 58325 від 27.01.2015 р. «Методика оцінки компонентів надземної фітомаси кущів чагарникових верб» / Білоус А. М., Голяка Д. М.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № 58687; заявл. 28.11.2014. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи до оцінювання фітомаси кущів автохтонних верб).*

### Довідник

43. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України: [довідник (наукове-виробниче видання)] / [Лакида П. І., Білоус А. М., Блищик В. І., Василишин Р. Д., Василишин О. М., Домашовець Г. С., Ковалевський С. С., Лакида І. П., Лашенко А. Г., Матейко І. М., Матушевич Л. М., Морозюк О. В., Фомін В. І., Швець Ю. П.]. – Корсунь-Шевченківський: ФОП

Гаврищенко В. М., 2013. – 457 с. *(Здобувачем здійснено збір та обробку експериментальних матеріалів, розроблено нормативно-довідкові матеріали для оцінювання фітомаси м'яколистяних деревостанів).*

#### **Науково-методичні рекомендації:**

44. Нормативно-інформаційне забезпечення для оцінки енергетичного потенціалу м'яколистяних лісів Полісся України / [Лакида П. І., Білоус А. М., Василишин Р. Д., Матушевич Л. М., Домашовець Г. С., Атаманчук Р. В., Лакида І. П., Оборська А. Е., Блищик В. І., Случик І. С.] // Рекомендації щодо таксаційної оцінки енергетичних запасів дерев та деревостанів м'яколистяних порід, які можуть бути використані для одержання теплової енергії. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2010. – 36 с. *(Схвалено проблемною вченою радою НДІ лісівництва та декоративного садівництва, протокол № 7 від 15 листопада 2010 року. Здобувачем створено нормативно-довідкові матеріали для оцінювання запасу енергії в компонентах фітомаси м'яколистяних деревостанів).*

45. Методичні рекомендації щодо розроблення нормативно-інформаційного забезпечення оцінки вуглецедепонуєчих та киснепродукуєчих функцій лісів головних лісотвірних порід України / [Лакида П. І., Василишин Р. Д., Домашовець Г. С., Лашенко А. Г., Терентьев А. Ю., Бала О. П., Володимиренко В. М., Білоус А. М., Матушевич Л. М., Морозюк О. В., Василишин О. М., Лакида І. П., Блищик В. І., Ковалевський С. С., Матейко І. М., Мельник О. М.]. – К.: ЦП «Компринт», 2013. – 40 с. *(Схвалено проблемною вченою радою НДІ лісівництва та декоративного садівництва, протокол № 13 від 5 грудня 2013 року. Здобувачем створено нормативно-довідкові матеріали для оцінювання депонованого вуглецю в фітомасі м'яколистяних насаджень).*

46. Білоус А. М. Нормативно-інформаційне забезпечення для оцінки ресурсного та екологічного потенціалу чагарникових верб природних фітоценозів / А. М. Білоус, Д. М. Голяка // Рекомендації для кількісної оцінки фітомаси, запасу компонентів у свіжозрізаному стані придатних до поїдання мисливськими тваринами, вуглецедепонуєчій та киснепродукуєчій функцій кущів чагарникових верб. – К.: «ЦП «КОМПРИНТ», 2014. – 37 с. *(Схвалено проблемною вченою радою НДІ лісівництва та декоративного садівництва НУБіП України, протокол № 11 від 18 листопада 2014 року. Здобувачем запропоновано методичні основи розроблення нормативного забезпечення та створено довідкові матеріали для оцінювання фітомаси і депонованого вуглецю в фітомасі кущів автохтонних верб).*

#### **Матеріали та тези наукових доповідей:**

47. Лакида П. І. Потенціал осикових лісів Правобережного Полісся України / П. І. Лакида, А. М. Білоус, В. А. Барабаш // Перспективи розвитку лісового і садово-паркового господарства: наукова конференція, присвячена 75-річчю від дня народження професора, доктора сільськогосподарських наук Мороза Петра Івановича, 27–28 квітня 2010 р.: тези доповіді. – Умань, 2010. – С. 75–76. *(Здобувачем здійснено аналіз лісівничо-таксаційних показників осикових лісів, зроблено узагальнення та висновки).*



48. Лакида П. І. Особливості вікової структури осичників Західного Полісся України / П. І. Лакида, **А. М. Білоус**, В. А. Барабаш // Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія, стан, перспективи розвитку: науково-практична конференція, 15–16 травня 2010 р.: матеріали конференції. – Березне, 2010. – Ч. II. – С. 28–29. *(Здобувачем здійснено аналіз структури осикових лісів, узагальнено висновки).*

49. Биопродуктивность и энергетический потенциал лесов Украины / [Лакида П. И., **Белоус А. М.**, Василишин Р. Д., Зибцев С. В., Матушевич Л. Н.] // Международная научно-практическая конференция, посвящена 80-летию Института леса НАН Беларуси, 17–19 ноября 2010 г.: материалы конференции. – Гомель, 2010. – С. 53–56. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, розроблено математичні моделі для оцінювання біопродуктивності м'яколистяних лісів, узагальнено висновки).*

50. Лакида П. І. Нормативно-інформаційне забезпечення оцінки компонентів фітомаси дерев осики для біотехнічних заходів у мисливських угіддях / П. І. Лакида, **А. М. Білоус**, А. В. Сагайдак // Освіта, наука інновації у лісовому і садово-парковому господарстві України в контексті регіональних та глобальних викликів: міжнародна науково-практична конференція, 30 вересня – 2 жовтня 2010 р.: тези доповіді. – К., 2010. – С. 27–29. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, розроблено нормативно-довідкові матеріали для біотехнічних заходів, узагальнено висновки).*

51. Білоус А. М. Енергетична продуктивність осичників Українського Полісся / **А. М. Білоус**, Р. Д. Василишин // Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених, 11 лютого 2011 р.: матеріали конференції. – Умань, 2011. – Ч. 1. – С. 149–150. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, розроблено нормативні матеріали для оцінювання енергопродуктивності осичників, узагальнено висновки).*

52. Білоус А. М. Дешифрування лісового фонду на основі космічних знімків Rapideye / **А. М. Білоус**, О. В. Алексін // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 26–29 жовтня 2011 р.: матеріали конференції. – К., 2011. – С. 91–93. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми та аналітичний огляд, опрацьовано методичні основи дослідження лісів дистанційними методами, підготовлено висновки).*

53. Василишин Р. Д. Еколого-економічна оцінка використання енергетичного потенціалу лісів України / Р. Д. Василишин, **А. М. Білоус** // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 26–29 жовтня 2011 р.: тези доповіді. – К., 2011. – С. 59–60. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, оцінено енергетичний потенціал м'яколистяних лісів, узагальнено висновки).*

54. Біоенергетична перспектива використання лісової біомаси в Україні / [Василишин Р. Д., **Білоус А. М.**, Макарчук Я. І., Лакида П. І.] // 61-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, 4–6 травня 2011 р.: тези доповіді. – Львів, 2011. – С. 8–10. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми та аналітичний огляд, підготовлено висновки).*

55. Білоус А. М. Особливості дослідження фітомаси живого надґрунтового покриву березняків Чернігівського Полісся / **А. М. Білоус**, О. І. Слива, Я. В. Ковбаса // Ліс, довкілля, технології: наука та інновації: міжнародна науково-практична конференція, 29 березня 2012 р.: тези доповіді. – К., 2012. – С. 113–114. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи до оцінювання фітомаси живого надґрунтового покриву, узагальнено висновки).*

56. Голяка Д. М. Методичні особливості та дослідні дані для дослідження фітомаси чагарникових верб у Чернігівському Поліссі / Д. М. Голяка, А. В. Сагайдак, **А. М. Білоус** // Ліс, довкілля, технології: наука та інновації: міжнародна науково-практична конференція, 29 березня 2012 р.: тези доповіді. – К., 2012. – С. 131–132. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, розроблено методичні підходи, сформовано базу дослідних даних фітомаси верб, узагальнено висновки).*

57. Білоус А. М. Особливості дослідження живого надґрунтового покриву березняків Чернігівського Полісся / **А. М. Білоус**, Я. В. Ковбаса // Дендрологія, квітникарство та садово-паркове будівництво: міжнародна науково-практична конференція, 5–8 червня 2012 р.: матеріали конференції. – Ялта, 2012. – С. 10–11. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, обробку дослідних даних, підготовлено висновки).*

58. Белоус А. М. Особенности структуры мягколиственных лесов Украинского Полесья / А. М. Белоус // Dezvoltarea durabila a sectorului forestier – noi obiective si prioritati: simpozion international, 17–19 noiembrie în 2011. – Chisinau, 2011. – С. 174–177.

59. Нормативи оцінки енергетичного потенціалу м'яколистяних деревостанів Полісся України / [Лакида П. І., **Білоус А. М.**, Васишин Р. Д., Матушевич Л. М.] // Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та молодих вчених, 25 березня 2011 р.: тези доповіді. – К., 2011. – С. 82–84. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, збір і обробку дослідних даних фітомаси м'яколистяних деревостанів, створено нормативи, сформовано висновки).*

60. Лакида П. І. Типологічна структура вільхових деревостанів Українського Полісся / П. І. Лакида, **А. М. Білоус**, В. І. Блищик // Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія, стан, перспективи розвитку: I міжнародна науково-практична конференція, 19–20 травня 2012 р.: матеріали конференції. – Березне, 2012. – С. 127–128. *(Здобувачем здійснено огляд літературних джерел, проаналізовано типологічну структуру вільшаників, узагальнено висновки).*

61. Білоус А. М. Особливості дешифрування лісів на основі космічних знімків Rapideye / **А. М. Білоус**, О. В. Алексін // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: міжнародна науково-практична конференція, 20–22 вересня 2012 р.: матеріали конференції. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 18–19. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи, підготовлено висновки).*

62. Білоус А. М. Оцінка та моделювання мортмаси листя в лісовій підстилці березняків Чернігівського Полісся / **А. М. Білоус**, Я. В. Ковбаса, С. С. Ковальська // Екологізація сталого розвитку і ноосферна перспектива інформаційного суспільства: міжнародна науково-практична конференція, 3–5 жовтня 2012 р.: матеріали конференції. – Харків, 2012. – С. 24–25. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд,*

*збір і обробку дослідних даних, створено моделі для оцінювання мортмаси, узагальнено висновки).*

63. Оцінка та моделювання фітомаси живого надґрунтового покриву березняків Чернігівського Полісся / [Лакида П. І., Білоус А. М., Ковбаса Я. В., Слива О. І.] // Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту: міжнародна наукова конференція, 20–22 вересня 2012 р.: матеріали конференції. – Біла Церква, 2012. – С. 57–59. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, збір і обробку дослідних даних, моделювання фітомаси живого надґрунтового покриву, узагальнено висновки).*

64. Білоус А. М. Моделювання надземної фітомаси чагарникових верб природних фітоценозів Чернігівського Полісся / А. М. Білоус, Д. М. Голяка // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 16–18 жовтня 2013 р.: тези доповіді. – К., 2013. – С. 40–41. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір і обробку дослідних даних, моделювання фітомаси кущів верб, підготовлено висновки).*

65. Волощук Н. М. Видове різноманіття мікробіоти мортмаси молодняків берези повислої (*Betula pendula* L.) на староорних землях Чернігівського Полісся / Н. М. Волощук, А. М. Білоус, М. А. Бузиль // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 16–18 жовтня 2013 р.: тези доповіді. – К., 2013. – С. 46–47. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, відбір дослідних даних, узагальнено висновки).*

66. Волощук Н. М. Особенности видового состава микробиоты мортмассы мягколиственных молодняков на старопахотных землях в Черниговском Полесье / Н. М. Волощук, А. М. Белоус, М. А. Бузыль // Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: международная научно-практическая конференция, 9–11 октября 2013 г.: материалы конференции. – Гомель, 2013. – С. 307–310. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, відбір дослідних зразків мортмаси, зроблено узагальнення і висновки).*

67. Голяка Д. М. Структура надземної фітомаси кущів *Salix cinerea* L. у природних чагарникових фітоценозах Чернігівського Полісся / Д. М. Голяка, А. М. Білоус // Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 63-я науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, 21–22 травня 2013 р.: тези доповіді. – Львів, 2013. – С. 20–22. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір дослідних даних фітомаси кущів верб, зроблено узагальнення і висновки).*

68. Bioproductivity of Ukrainian forests in conditions of global climate change / [Lakyda P., Vasylyshyn R., Zibtsev S., Bilous A., I. Lakyda] // Біоресурси планети та біобезпека навколишнього середовища: проблеми та перспективи: міжнародна наукова конференція, 4–7 листопада 2013 р.: матеріали конференції. – К., 2013. – С. 52. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, оцінено біопродуктивність м'яколистяних лісів України, узагальнено висновки).*

69. Белоус А. М. Оценка и моделирование фитомассы *Salix cinerea* L. в естественных фитоценозах Украинского Полесья / **А. М. Белоус**, Д. Н. Голяка // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микробиоты: II-я международная научно-практическая конференция, 12–14 ноября 2013 г.: сборник статей. – Минск, 2013. – С. 142–144. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено моделі для оцінювання надземної фітомаси кущів верб, узагальнено висновки).*

70. Білоус А. М. Оцінка мортмаси сухою березових деревостанів Східного Полісся України / **А. М. Білоус**, Я. В. Ковбаса // Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: міжнародна науково-практична конференція, 13–14 березня 2014 р.: тези доповіді. – К., 2014. – С. 21–22. *(Здобувачем здійснено аналіз проблеми, розроблено методичних основ дослідження, оцінено мортмасу сухою, зроблено узагальнення та висновки).*

71. Голяка Д. М. Підземна фітомаса кущів *Salix cinerea* L. у природних фитоценозах Чернігівського Полісся України / Д. М. Голяка, **А. М. Білоус** // Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: міжнародна науково-практична конференція, 13–14 березня 2014 р.: тези доповіді. – К., 2014. – С. 27–28. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, обробку дослідних даних, узагальнено висновки).*

72. Бузиль М. А. Видове біорізноманіття дерево руйнівних грибів *Ascomycota* у березових насадженнях Українського Полісся / М. А. Бузиль, Н. М. Волощук, **А. М. Білоус** // Лісове і садово-паркове господарство ХХІ сторіччя: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: міжнародна науково-практична конференція, 13–14 березня 2014 р.: тези доповіді. – К., 2014. – С. 113–114. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, підготовлено висновки).*

73. Голяка Д. М. Нормативне забезпечення оцінки компонентів фітомаси кущів *Salix cinerea* L. для біотехнічних заходів / Д. М. Голяка, **А. М. Білоус** // Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства: наукова конференція, 25 березня 2014 р.: матеріали конференції. – Умань, 2014. – С. 66–67. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розробку нормативів для визначення запасів кормових ресурсів, узагальнено висновки).*

74. Carbon stores in Ukrainian forests: current stock and midterm forecast / [Lakyda P., Vasylyshyn R., **Bilous A.**, Zibtsev S.] // Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research: XXIV IUFRO World Congress, 5–11 October 2014: abstracts. – Salt Lake City, 2014. – P. 412. *(Здобувачем оцінено запаси вуглецю м'яколистяних лісів України).*

75. Ковбаса Я. В. Оцінка мортмаси деревної ламані в березових насадженнях Східного Полісся України / Я. В. Ковбаса, **А. М. Білоус** // Збалансоване природокористування: традиції та інновації: міжнародна науково-практична конференція, 16–17 жовтня 2014 р.: матеріали конференції. – К., 2014. – С. 93–95. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, оцінено мортмасу деревної ламані березняків, підготовлено узагальнення і висновки).*

76. Бузиль М. А. Видовий склад та приуроченість дереворуйнівних грибів компонентів мортмаси берези повислої у насадженнях Чернігівщини / М. А. Бузиль, **А. М. Білоус** // Збалансоване природокористування: традиції та інновації:

міжнародна науково-практична конференція, 16–17 жовтня 2014 р.: матеріали конференції. – К., 2014. – С. 29–31. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, відбір дослідних зразків, узагальнено висновки).*

77. Білоус А. М. Формування відпаду дерев у молодняках берези повислої Полісся України / А. М. Білоус, М. А. Бузиль // 64-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2013 році, 23 жовтня 2014 р.: тези доповіді. – Львів, 2014. – С. 16–18. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено методичні підходи до дослідження відпаду дерев, зібрано дослідні дані, підготовлено висновки).*

78. Білоус А. М. Класифікація компонентів мортмаси березових лісів в Українському Поліссі / А. М. Білоус, Я. В. Ковбаса, В. М. Володимиренко // 64-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2013 році, 23 жовтня 2014 р.: тези доповіді. – Львів, 2014. – С. 18–20. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, розроблено теоретичні основи класифікації компонентів мортмаси берези).*

79. Голяка Д. М. Використання даних дистанційного зондування поверхні Землі для оцінки фітомаси чагарникових верб / Д. М. Голяка, А. М. Білоус, А. Б. Востоков // 64-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2013 році, 23 жовтня 2014 р.: тези доповіді. – Львів, 2014. – С. 32–34. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір польових дослідних даних, узагальнено висновки).*

80. Білоус А. М. Мортмаса м'яколистяних лісів Українського Полісся / А. М. Білоус // III міжнародний форум студентів, аспірантів і молодих вчених, 23–24 квітня 2015 р.: матеріали форуму. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 333–335.

81. Аврамчук О. О. Оцінка мортмаси підстилки соснових лісів Київського Полісся / О. О. Аврамчук, А. М. Білоус // Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання: міжнародна науково-практична конференція, 23–24 квітня 2015 р.: тези доповіді. – К., 2015. – С. 15–16. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, опрацьовано методуку дослідження мортмаси лісу, узагальнено висновки).*

82. Білоус А. М. Швидкість деструкції мортмаси деревної ламані осики в лісах Українського Полісся / А. М. Білоус, О. І. Слива // Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання: міжнародна науково-практична конференція, 23–24 квітня 2015 р.: тези доповіді. – К., 2015. – С. 17–18. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, розроблено моделі швидкості деструкції мортмаси деревної ламані осики, підготовлено висновки).*

## АНОТАЦІЯ

**Білоус А. М. Біопродуктивність та екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальностями 06.03.02 – лісовпорядкування та лісова таксація та

06.03.03 – лісознавство і лісівництво. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2016.

У дисертації представлено теоретико-методологічні та методичні засади дослідження біопродуктивності м'яколистяних лісів та автохтонних верб і систему нормативів для визначення екосистемних функцій лісів *Betula pendula* Roth, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. та *Populus tremula* L.

За результатами дослідження удосконалено теоретико-методологічні засади досліджень росту, розвитку і біопродуктивності лісів та створено методику дослідження надземної фітомаси кущів автохтонних верб. Розроблено методику дослідження надземної мортмаси лісу. Встановлено особливості росту і розвитку деревостанів, динаміки біопродуктивності березових, вільхових і осикових лісів. Визначено основні закономірності утворення мортмаси в м'яколистяних лісах, швидкість її деструкції та особливості формування мікобіоти.

Розроблено нормативно-довідкову базу для визначення особливостей росту і розвитку деревостанів, динаміки фітомаси і мортмаси березових, вільхових і осикових лісів та оцінювання динаміки депонованого вуглецю, чистої первинної продукції, киснепродуктивності, енергоємності й енергопродуктивності та вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  й  $^{90}\text{Sr}$  у компонентах фітомаси. Визначено загальний обсяг накопиченої органічної рослинної речовини, депонованого вуглецю, чистої первинної продукції, продукованого кисню та енергії в біомасі лісів Українського Полісся.

**Ключові слова:** береза повисла, вільха клейка, осика, Українське Полісся, хід росту, біопродуктивність, фітомаса, мортмаса, мікобіота, екосистемні функції, депонований вуглець, киснепродуктивність, енергопродуктивність,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , модальні насадження, нормативно-довідкові матеріали.

## АННОТАЦІЯ

**Белоус А. М. Биопродуктивность и экосистемные функции мягколиственных лесов Украинского Полесья.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальностям 06.03.02 – лесоустройство и лесная таксация и 06.03.03 – лесоведение и лесоводство. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2016.

В диссертации разработаны теоретико-методологические основы, методические подходы к исследованию биопродуктивности мягколиственных лесов, автохтонных ив, а также система нормативов для оценки экосистемных функций лесов *Betula pendula* Roth, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. и *Populus tremula* L.

В результате исследования усовершенствованы теоретико-методологические основы исследования процессов роста, развития и биопродуктивности лесов и создано методику оценки надземной фитомассы кустов ив. Установлены особенности роста и развития модальных древостоев, динамики биопродуктивности березовых, ольховых и осиновых лесов. Определены основные закономерности образования компонентов мортмассы в мягколиственных лесах, скорость ее деструкции и особенности формирования микобиоты.

Разработана система нормативных материалов для определения особенностей роста и развития модальных мягколиственных лесов, динамики компонентов фитомассы и мортмассы березовых, ольховых и осиновых насаждений, оценки динамики депонированного углерода, чистой первичной продукции, кислородопродуктивности, энергоемкости и энергопродуктивности, а также содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в фитомассе. Установлен общий объем накопленного органического растительного вещества, депонированного углерода, чистой первичной продукции, производимого кислорода и энергии в биомассе лесов Украинского Полесья.

**Ключевые слова:** береза повислая, ольха черная, осина, Украинское Полесье, ход роста, биопродуктивность, фитомасса, мортмасса, микобиота, экосистемные функции, депонированный углерод, кислородопродуктивность, энергопродуктивность,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , модальные насаждения, нормативно-справочные материалы.

### ANNOTATION

**Bilous A. M. Biological productivity and ecosystem functions of softwood deciduous forests in the Ukrainian Polissya.** – The Manuscript.

Thesis for a degree of Doctor of Agricultural Sciences in specialty 06.03.02 – forest inventory and forest mensuration and 06.03.03 – forestry and silviculture.– National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

This thesis elaborates theoretical and methodological backgrounds, methodology approaches for the study of biological productivity of softwood deciduous forests and indigenous willows, and a system of reference tools and information to assess biophysical indicators of ecosystem functions of *Betula pendula* Roth, *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., and *Populus tremula* L. forests.

Experimental background of the study includes:

- 443 temporary sample plots allocated in softwood deciduous forests (incl. 152 sample plots in birch stands, 147 sample plots in alder stands, and 144 sample plots in aspen stands); 72 sample shrubs of indigenous willows (*Salix cinerea* L., *Salix caprea* L., *Salix triandra* L., *Salix pentandra* L.);

- database "Forest Fund of Ukraine" by Production Association "Ukrderzhlisproekt", which contains characteristics of 937.8 thousand of primary inventory units of forest;

- experimental site of 4.5 thousand ha for remote sensing studies of forest ecosystem.

Subsequent to the study results, theoretical and methodological basis for investigation of forests growth and bioproductivity has been improved, and study procedure for aboveground bush live biomass of indigenous willows has been developed. The theoretical basis for classification of organic matter components of dead trees has been substantiated, and the study procedure for forest aboveground mortmass has been created.

The analysis of forestry and measurement features of softwood deciduous forests of Ukrainian Polissya was performed. Growth and development peculiarities of mixed modal stands of birch, alder and aspen have been quantified. Models of the dynamics of forest stands were elaborated. Dynamics of bioproductivity of birch, alder and aspen forests by stand biomass components (stem, branches, foliage and roots), understory and green

forest floor was modeled. Analysis of the dynamics of softwood deciduous forests biomass structure was performed. Natural and basic wood and bark density of willows shoots and roots was quantified; besides, models of the total live biomass of shrubs in Ukrainian Polissya were developed based on the bush height and diameter.

The main regularities of mortmass accumulation in softwood deciduous forests were defined. Mathematical models for evaluation of mortmass components (snags, logs, rough branch residues and fine litter) in oven-dry weight per 1 ha were elaborated. The models were elaborated using measurement indicators of birch, alder and aspen stands, including average height, average diameter and relative stocking of stands.

In the conditions of Ukrainian Polissya (Chernihiv region), *B. pendula* logs wood decomposition rate is  $0.128 \text{ yr}^{-1}$ , and total decomposition period of *B. pendula* coarse woody debris is 28–35 years. The logs of *A. glutinosa* decompose for 35–50 years at rate  $0.070 \text{ yr}^{-1}$ . Logs of *P. tremula* decomposes for 24–30 years ( $0.134 \text{ yr}^{-1}$ ). Stump mortmass decomposes considerably faster than other log components. Birch stumps decompose at rate  $0.147 \text{ yr}^{-1}$ , alder stumps –  $0.074 \text{ yr}^{-1}$ , and aspen stumps –  $0.149 \text{ yr}^{-1}$ .

Micobiota formation features based on mortmass of different degradation classes were described. Fungi belonging to *Ascomycota* and *Basidiomycota* divisions are most actively involved in *B. pendula* and *P. tremula* mortmass destruction.

Only 2 % of the total mortmass of softwood deciduous forests is accounted during forest management inventory in Ukraine. Total pool of dead organic matter is estimated as 10.4 million tons of dry matter, including 46 % in birch stands, 50 % in alder stands and 4 % in aspen stands. The snags and logs comprise 22 % of the total mortmass, while mortmass of rough branch residues and fine litter comprises 9 % and 47 %, respectively.

Studies of softwood deciduous forests bioproductivity were carried out employing system analysis approach and comprehensive observation using both in situ measurements and remote sensing. k-NN method applying *Most Similar Neighbor* classifier and data obtained from *RapidEye* (2011) and *Ikonos* (2012) satellite images were used for modeling of forest biomass spatial distribution at experimental site in Ukrainian Polyssia.

The algorithms for determination of energy content in biomass were proposed. Energy output from wood and bark biomass components of *B. pendula*, *A. glutinosa*, *P. tremula*, *S. cinerea*, *S. caprea* and *S. pentandra* was investigated. The total energy of biomass of Ukrainian Polissya softwood deciduous forests is estimated as 1891 PJ.

The peculiarities of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transfer from soil to biomass of wood and trunk bark, branches, foliage and roots of *B. pendula*, *A. glutinosa*, *P. tremula*; and dynamics of radionuclides in modal stands over age were investigated.  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  content in stem biomass of birch, alder and aspen at different soil contamination levels were measured.

A set of regulatory-reference materials aimed to determine growth and development features of modal softwood deciduous forests, dynamics of live biomass and mortmass components of birch, alder and aspen stands, and to evaluate the dynamics of the carbon deposition, net primary production (NPP), oxygen and energy productivity, energy capacity and content of radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in forest biomass components has been elaborated for the purpose of applied system analysis of forest ecosystem functions and their practical use in forestry implementation.

In total, softwood deciduous forests of Ukrainian Polissya produce about  $4.0 \text{ Tg C} \cdot \text{year}^{-1}$  of NPP, which is about 27 % of the total NPP of all forests. NPP distribution



by live biomass components of Ukrainian Polissya forests is typical for the temperate zone. Thus, 27 % of the total NPP is allocated in stems, 31 % – in roots, 16 % – in foliage, and 6 % – in branches. A considerable portion of NPP is contributed by understorey (5 %) and green forest floor (15 %). 226.4 Tg C is accumulated in the forest live biomass of Ukrainian Polissya, of which 68 % is allocated in stems, 8 % –in branches, 2 % –in foliage, 19 % – in roots, and 3 % – in the understorey and green forest floor. More than 20 % of total forest carbon pool is accumulated in biomass of softwood deciduous stands.

Total oxygen production of Ukrainian Polissya forests is 43.07 million tons year<sup>-1</sup>, 15 % of which is produced by birch forests, 9 % – by alder forests, and 2 % – by aspen forests. The aspen forests are characterized by the greatest intensity of oxygen production (26.2 t·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>).

**Key words:** silver birch, black alder, aspen, Ukrainian Polissya, growth of forests, biological productivity, live biomass, coarse woody debris, mortmass, micobiota, ecosystem functions, carbon sequestration, oxygen productivity, energy production, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, modal stands, regulatory-reference tools.