

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

СЛЮСАРЧУК ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 630*24:630*5(477.85)

**ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ
БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ БУКОВИНСЬКОГО ПЕРЕДКАРПАТТЯ**

06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ – 2020

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор сільськогосподарських наук, доцент
Василишин Роман Дмитрович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
професор кафедри таксації лісу
та лісового менеджменту

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Миклуш Степан Іванович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»,
директор Навчально-наукового інституту
лісового і садово-паркового господарства

кандидат сільськогосподарських наук
Бокоч Вікторія Віталіївна,
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
доцент кафедри лісівництва

Захист відбудеться «05» листопада 2020 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.09 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 308

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 «02» жовтня 2020 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Енергетична функція лісових фітоценозів є важливою складовою комплексу їх екосистемних функцій та має ключове значення для системи заходів щодо пом'якшення і запобігання глобальним кліматичним змінам, а також для забезпечення комплексного використання лісових ресурсів на засадах сталого лісоуправління. В умовах Буковинського Передкарпаття, де букові деревостани є ключовим природним об'єктом, котрий формує позитивну динаміку стану навколишнього природного середовища та виступає джерелом деревних ресурсів, прогнозування особливостей їхнього росту й оцінювання їхньої енергетичної функції слугуватиме інформаційним інструментарієм ведення ефективного лісового господарства і впровадження механізмів низьковуглецевого розвитку лісогосподарського виробництва.

Дослідження енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів, як структурної складової лісової біоенергетики, є сучасним інноваційним спрямуванням лісотаксаційної науки, в основі якого знаходяться класичні теорії та методичні підходи щодо вивчення росту й біопродуктивності лісових фітоценозів. Фундаментальні й прикладні аспекти досліджень цього напрямку нині представлені у численних наукових працях як в Україні, так і за її межами (Лакида П. І., 2002; Shvidenko A. et al., 2004, 2008, 2014; Миклуш С. І., 2008; Пастернак В. П., 2008; Smeets E. M. W. et al., 2010; Бокоч В. В., 2012; Bottcher H. et al., 2012; Василишин Р. Д., 2014, 2016, 2018; Білоус А. М., 2015; Ситник С. А., 2017; Гелетуха Г. Г. та ін., 2018, Миронюк В. В., 2019).

Дослідження особливостей росту та енергетичного потенціалу букових деревостанів Буковинського Передкарпаття дозволить розробити систему нормативно-інформаційного забезпечення для прогнозування росту модальних деревостанів та оцінювання їхньої енергетичної функції, як наукового базису для забезпечення комплексного використання лісових ресурсів регіону на засадах сталого розвитку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною фундаментальних і прикладних досліджень, що виконувалися співробітниками кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України в рамках наступних держбюджетних тем: «Проблеми сталого використання лісових ресурсів в умовах глобальних змін клімату» (номер державної реєстрації 0114U000651) та «Науково-методичні засади та інформаційний інструментарій оцінювання первинної продукції і потенціалу біомаси лісів Українських Карпат» (номер державної реєстрації 0119U100828), до яких здобувач залучався як виконавець окремих розділів.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розроблення нормативно-інформаційного забезпечення для прогнозування росту та оцінювання енергетичного потенціалу модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття на засадах сталого лісоуправління.

Досягнення мети передбачало вирішення наступних завдань:

– дослідити роль лісових фітоценозів у забезпеченні розвитку лісової біоенергетики;

– опрацювати теоретичні засади і методичні підходи до оцінювання росту та енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах регіону;

– розробити математичні моделі динаміки таксаційних показників та таблиці ходу росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття;

– здійснити кількісну оцінку енергоємності компонентів фітомаси модальних букових деревостанів та розробити відповідний нормативний інструментарій у вигляді математичних моделей і довідкових таблиць;

– здійснити кількісну ресурсну та еколого-економічну оцінку енергетичного потенціалу деревної біомаси в букових лісах Буковинського Передкарпаття.

Об'єкт дослідження – біопродукційні процеси у модальних букових насадженнях Буковинського Передкарпаття.

Предмет дослідження – особливості росту та енергетичний потенціал букових деревостанів Буковинського Передкарпаття.

Методи дослідження. Методичні та експериментальні дослідження в межах дисертації базувалися на засадах системного підходу з використанням сучасних інформаційних технологій. Під час дисертаційного дослідження використано поєднання загальнонаукових методів пізнання та спеціальних лісотаксаційних методичних підходів щодо прогнозування ходу росту лісових насаджень й оцінювання їхньої біомаси. Для вирішення таких завдань дисертаційного дослідження, як встановлення зв'язків між таксаційними показниками насаджень, моделювання математичних залежностей, оцінка придатності та адекватності розроблених моделей, у роботі використано базові методи математичної статистики та математичного моделювання. Камеральна обробка дослідних даних, зібраних на тимчасових пробних площах, виконувалася із використанням спеціальних таксаційних і біометричних програм, розроблених науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Наукова новизна одержаних результатів. На засадах системного підходу з використанням методів математичного моделювання, регресійного аналізу й синтезу одержано основні положення комплексного оцінювання особливостей росту та енергетичного потенціалу букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, які визначають наукову новизну і полягають у наступному:

уперше:

– розроблено математичні моделі динаміки таксаційних показників та таблиці ходу росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття;

– встановлено параметри питомої енергоємності компонентів фітомаси модальних букових деревостанів регіону дослідження на основі показників їхньої середньої базисної щільності;

– розроблено нормативні таблиці енергоємності компонентів фітомаси модальних букових деревостанів, як практичний інструментарій лісової біоенергетики в Буковинському Передкарпатті;

– здійснено загальну оцінку п'яти типів енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах регіону дослідження;

удосконалено методичні підходи до оцінювання енергетичного потенціалу лісових деревних відходів з урахуванням особливостей лісорослинних умов Буковинського Передкарпаття;

отримало подальший розвиток:

– дослідження росту й енергетичного потенціалу деревної біомаси гірських лісів на основі системного підходу;

– еколого-економічне оцінювання потенціалу енергетичного використання ресурсу деревної біомаси на засадах сталого розвитку.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційного дослідження у вигляді комплексу математичних моделей для оцінювання особливостей росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття та системи інформаційного забезпечення для оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси у межах досліджуваних деревостанів передані для практичного використання ДП «Берегометське лісомисливське господарство», ДП «Сторожинецьке лісове господарство», а також Українському науково-дослідному інституту гірського лісівництва імені П. С. Пастернака.

Отримані результати також використовуються у навчальному процесі Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України при викладанні дисциплін ОС «Магістр» спеціальності «Лісове господарство» та Сторожинецького лісового коледжу при підготовці фахівців ОКР «Молодший спеціаліст» зі спеціальності 205 «Лісове господарство».

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу літературних джерел, збору та камерального оброблення дослідних даних. Здобувачем опрацьовано теоретичні й методичні підходи з оцінки енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів і моделювання ходу росту модальних деревостанів. Розроблено математичні моделі та нормативно-інформаційне забезпечення для прогнозування росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття й оцінювання енергетичного потенціалу їх деревної біомаси. Здійснено оцінку енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах регіону дослідження та встановлено їхню загальну енергоємність й енергопродуктивність. Здобувачем сформульовано основні наукові положення, проведено збір та обробку дослідного матеріалу, обґрунтовано висновки та пропозиції виробництву.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та теоретичні положення дисертації апробовано на: Міжнародній науково-практичній конференції «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми наук про життя

та природокористування» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (м. Львів, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ліси Східної Європи у світі, що змінюється» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів» (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів» (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві» (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва» (м. Київ, 2019 р.).

Публікації. Основні наукові положення за темою дисертації опубліковано у 21 науковій праці, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави, 2 науково-методичні рекомендації та 12 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел і додатків. Результати досліджень викладено на 211 сторінках. Цифровий матеріал представлено в 37 таблицях, графічні дані ілюстровано 15 рисунками. Список використаних джерел містить 277 найменувань, із них 52 латиною.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1 Сучасний стан дослідження процесів росту в лісових насадженнях та їх енергетичного потенціалу. Критичний аналіз подій і явищ, що відбувалися протягом останнього десятиріччя з питань впровадження принципів сталого розвитку, дає підставу стверджувати про появу якісно нового рівня відносин між людством та навколишнім природним середовищем. Ключовим питанням у цьому контексті постає суспільна здатність впроваджувати механізми раціонального й невиснажливого використання біоресурсів для збереження екологічної рівноваги функціонування природних та урбанізованих екосистем.

На сучасному етапі розвитку суспільних відносин, лісові екосистеми є важливою структурною складовою комплексу ефективного природокористування, оскільки слугують чинником впливу на стан навколишнього природного середовища та забезпечують соціально-економічний розвиток як окремих територіальних громад, так і країни загалом. Саме тому, системне

впровадження принципів сталого використання лісових ресурсів, що направлені на мінімізацію його впливу на довкілля та розвиток низьковуглецевих технологій у лісогосподарському виробництві, дозволить збалансувати стан окремих складових біосфери.

Особливо актуальні згадані питання для гірських умов Українських Карпат, у тому числі й Буковинського Передкарпаття. Для ефективної імплементації парадигми сталого ведення лісового господарства у Карпатському регіоні України, в основу управлінських рішень необхідно покласти не тільки знання про особливості природних процесів у лісових фітоценозах й вплив різних чинників на формування кількісних та якісних характеристик деревостанів головних лісотвірних деревних видів, а й розуміння соціальної ролі лісів для забезпечення потреб місцевих громад.

У науковій спільноті, лісові екосистеми часто порівнюють з великою динамічною дифузною системою, вивчення якої, особливо математичний опис процесів, що протікають в ній, є досить складним та багатогранним завданням (Ляпунов А. А., Багриновська Г. П., 1975).

Сучасні ідеї системного підходу застосовуються у багатьох наукових роботах з лісового господарства та мають значний вплив на формування методології дослідницьких лісівничих робіт, як українських (Білоус А. М., 2016, 2018; Василюшин Р. Д., 2016, 2017; Лакида П. І., 1997, 2002, 2019; Миклуш С. І., 2011, 2017; Пастернак В. П., 2011; Швиденко А. З., 2016, 2015, 2018), так і закордонних дослідників (Purkus A., Ludtke J., 2020; Sacchelli S., 2018; Rettenmaier N. et al., 2010; Woch F. et al., 2020).

У світовому науковому товаристві наразі функціонує значна кількість моделей, спрямованих на дослідження біогеохімічних показників та потоків речовини й енергії у природних екосистемах (Беляков С. О., 2015). Серед вітчизняних дослідників, що займаються моделюванням екосистемних процесів, варто виокремити наукові роботи В. І. Лаврика (2004), В. М. Самойленка (2003), В. С. Ткаченка і С. Г. Бойченка (2014) та ін. Досить цікавими, з позиції практичного використання, є моделі «CENTURY» (1994) та «DAILY CENTURY» (2007), «EFISCEN» (2007), «GTM» (2001), «GLOBIOM» (2014) та ін.

Моделювання природних процесів у лісових фітоценозах досить добре представлено як у класичних наукових працях О. А. Атрощенко (1986), В. Ф. Багінського (1980), М. В. Давидова (1977), В. В. Загреєва (1978), В. С. Моисеєва (1968), А. Г. Мошкальова (1957), К. Є. Нікітіна (1966, 1973), Ю. М. Савича (1962), М. М. Свалова (1978), А. А. Строчинського (1992), М. В. Третьякова (1927), А. З. Швиденка (1981) й ін., так і сучасних лісотаксаційних роботах О. П. Бали (2019), А. М. Білоуса (2016, 2018), В. В. Бокоч (2014), Р. Д. Василюшина (2016, 2018), Г. Г. Гриника (2016), Г. С. Домашовець (2009), П. І. Лакиди (2002, 2010, 2018), С. І. Миклуша (2011), А. Ю. Терентьєва (2012) та ін.

Енергетична роль лісових фітоценозів полягає не тільки у забезпеченні відновлювальної енергетичної сировини, а й у регулюванні природних процесів у межах лісових екосистем. На думку Р. Д. Василюшина (2018), у сучасній

науковій літературі чітко простежуються три базові напрями дослідження енергетики лісових екосистем: екологічний (Альошкіна У. М., 2008; Бедернічек Т. Ю., 2008; Голубець М. А., 1975; Дідух Я. П., 2007; Кучерявий В. П., 2001), фітоергономічний (Молчанов А. А., Іванченко В. А., Гродзинський О. М., 2003; Поляков О. Ф., Плугатар Ю. В., 2009) і виробничий (Білоус А. М., 2011; Василюшин Р. Д., 2013, 2018; Гелетуха Г. Г. та ін., 2013; Дубровін В. О., 2014; Лакида П. І. та ін., 2011; Ситник С. А., Ловинська В. М., 2016).

Нині державні лісогосподарські підприємства регіону дослідження починають впроваджувати окремі проекти, направлені на максимізацію використання лісосічних відходів та низькоякісної деревини шляхом подрібнення на паливну тріску. Такий підхід дозволяє диверсифікувати джерела надходження коштів, збільшити кількість робочих місць для місцевих громад та покращити санітарний й протипожежний стан лісів через зменшення захаращеності лісових фітоценозів. Розвиток лісової біоенергетики у Чернівецькій області нині вимагає належного інформаційного супроводу, у тому числі нормативно-інформаційного забезпечення для оцінювання та сталого використання деревної біомаси лісів.

Розділ 2 Характеристика регіону дослідження. Чернівецька область, яка у межах дисертації репрезентативно представляє Буковинське Передкарпаття, об'єднуючи Прут-Дністровську рівнину, Прут-Сіретське Передгір'я (Передкарпаття) та Буковинські Карпати (Воропай Л. І., Куниця М. М., 2002), як один з найбільш лісистих регіонів країни, забезпечує виконання важливих екологічних й ресурсних функцій Карпатського регіону України.

Клімат регіону визначається як помірно-континентальний – доволі теплий і вологий. На регіональні кліматичні особливості значно впливають Буковинські Карпати та Передгір'я, де чітко проявляються висотно-зональні чинники формування мікроклімату, а також поперечний до північно-західного перенесення повітряних мас вал Хотинсько-Чернівецької височини.

Сприятливі природні ґрунтово-кліматичні умови регіону зумовили формування лісів з багатим видовим складом, а доволі виражене орографічно-ґрунтове різноманіття – відповідну мозаїку просторового розподілу головних лісотвірних видів, відмінних порівняно із західним регіоном у цілому. Лісова рослинність у регіоні поширена в межах висот 100–1400 м н. р. м. й істотно відрізняється за видовим складом, залежно від лісорослинних умов.

Сумарна частка лісових насаджень основних лісоутворювачів: ялини європейської, бука лісового, дуба звичайного і ялиці білої у межах досліджуваного регіону складає 88,1 % або 205,2 тис. га. Загальний запас лісових насаджень регіону, які охоплюють площу 232,8 тис. га, становить 64787,41 тис. м³. Відповідно середній запас на 1 га складає 278 м³. Найбільшу частку за запасом займають деревостани ялини європейської 23363,7 тис. м³ (36,1 %), бука лісового – 19091,9 тис. м³ (29,5 %), дуба звичайного – 7797,9 тис. м³ (12,0 %) та ялиці білої – 9746,8 тис. м³, або 15,0 % загального запасу.

У межах досліджуваного регіону бук лісовий переважно зростає у грудах (понад 72 %), менше трапляється у сугрудах (понад 27 %) і майже відсутній у суборах (0,2 %), де насадження за його участі займають площу менше 100 га. Слід зауважити, що у грудах та сугрудах бук зростає переважно на свіжих і вологих суглинистих буроземах, значно рідше зустрічається в сухих та сирих гігротопах. Щодо вікової структури, то частка середньовікових насаджень становить 46,7 %, пристиглих – 25,3 %, натомість, молодняків – лише 11,2 %, а стиглих насаджень – 15,6 %, середній вік букових деревостанів становить 76 років.

Букові деревостани у регіоні дослідження переважно характеризуються переважно I (57,0 %) та I^a (понад 25 %) класами бонітету. Дещо рідше букові деревостани Буковинського Передкарпаття описуються II (13,9 %), I^b (2,2 %) та III (1,0 %) класами бонітету. При цьому частка високобонітетних насаджень I^d та I^c класів бонітету та низькобонітетних IV класу бонітету і нижче не перевищує 0,1 %. При цьому, чисті букові деревостани трапляються на 14,4 % площах ділянок, вкритих лісовою рослинністю. Найбільша частка участі бука лісового у складі досліджуваних насаджень припадає на діапазон від 5 до 9 одиниць (73,5 %). При цьому лише 12,0 % букових деревостанів мають у своєму складі 4 і менше одиниці головної породи, водночас, зі зменшенням частки участі зменшується і площа таких насаджень.

Третина букових деревостанів Буковинського Передкарпаття зростають у свіжій дубово-грабовій бучині. Для відзначення особливостей росту модальних букняків регіону дослідження, варто зазначити, що в Українських Карпатах домінують такі типи букових лісів як волога чиста бучина та волога чиста субучина. Частка площі свіжої дубово-грабової бучини у загальній типологічній структурі букових деревостанів Карпатського регіону становить 4,2 %. Щодо вологої дубово-грабової бучини, частка якої у досліджуваному регіоні складає близько 20 % площ букових лісів, то варто зазначити, що в Українських Карпатах згаданий тип лісу поширений на площі понад 45 тис. га, або 6,8 %.

Одержані дані слугували інформаційною основою для виконання завдань дисертаційного дослідження та дозволили встановити базові чинники, що визначають особливості біопродукційного процесу у лісових фітоценозах досліджуваного регіону.

Розділ 3 Методика дослідження та характеристика дослідних даних. Для виконання завдань дисертаційного дослідження за основу використана методика збору та обробки дослідного матеріалу, розроблена П. І. Лакидою (2002), яка дає можливість дослідити кількісні значення параметрів деревної біомаси букових деревостанів та забезпечує вдале поєднання таксаційних та біометричних підходів. Також її було доповнено методичними елементами відбору дослідних зразків для моделювання ходу росту модальних деревостанів. За методичний базис для оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси букових деревостанів Буковинського Передкарпаття слугували теоретико-методичні підходи, запропоновані Р. Д. Васишиним (2014).

Дослідження особливостей росту та енергетичного потенціалу букових деревостанів Буковинського Передкарпаття базувалося на експериментальних даних, зібраних під час польових робіт у 2014–2017 рр. за згаданою вище методикою. Протягом цього періоду в природних букових деревостанах Чернівецької області було закладено 20 тимчасових пробних площ, на яких зрубано та обміряно 82 модельні дерева. Крім цього, з банку науково-дослідних даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України було використано дані семи тимчасових пробних площ, що закладалися П. І. Лакидою на території досліджуваного регіону.

Усі пробні площі були підібрані за єдиною методикою згідно з лісівничими та лісотаксаційними вимогами у домінуючих типах лісорослинних умов (табл. 1).

Таблиця 1

**Розподіл кількості тимчасових пробних площ
за класами бонітету та панівними типами лісорослинних умов, шт.**

Індекс типу лісорослинних умов	Клас бонітету				Усього
	I ^b	I ^a	I	II	
<i>C₃</i>	2	2	1	1	6
<i>D₂</i>	1	3	2		6
<i>D₃</i>	1	4	7	3	15
Разом	4	9	10	4	27

Розподіл пробних площ за віком, класами бонітету, відносною повнотою певним чином відображає структуру букових лісів досліджуваного регіону, а віковий діапазон букових насаджень, де вони закладалися, коливається в межах від 9 до 135 років, вони характеризувалися I^b, I^a, I, і II класами бонітету та діапазоном відносної повноти – від 0,65 до 0,9.

Моделювання динаміки таксаційних показників модальних природних букових деревостанів здійснено з використанням ростової функції Мітчерліха та алометричних залежностей, які здатні описати особливості ростових процесів у букових деревостанах досліджуваного регіону.

За методичну основу для оцінювання енергоємності й енергопродуктивності букових деревостанів Буковинського Передкарпаття слугували засади, які передбачають поєднання відповідного математичного інструментарію та повидільної таксаційної характеристики лісу (Василишин Р. Д., 2014).

Методичною основою оцінювання енергетичної функції букових деревостанів Буковинського Передкарпаття слугували теоретико-методологічні засади та методичні підходи, розроблені Р. Д. Васишлишином (2014). Використана методика передбачає 5 рівнів оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів, кожен з яких враховує певний перелік обмежень щодо її використання. Зокрема, здійснено оцінювання п'яти типів енергетичного потенціалу деревної біомаси (теоретично можливого, технічно доступного, екологічно безпечного, економічно доцільного та соціально зумовленого) у межах трьох її основних складових: дров'яна стовбурова

деревина, лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи (Василишин Р. Д., 2018).

Окремі механізми запропонованої методики були конкретизовані й адаптовані до умов Буковинського Передкарпаття. Зокрема, для оцінювання екологічно безпечного енергетичного потенціалу лісових деревних відходів, запропоновано конкретні кількісні значення частки лісосічних залишків, які доцільно залишати на лісосіках для перегнивання. Такий підхід направлений на забезпечення безперервного збагачення ґрунту поживними органічними речовинами. Залежно від пріоритетної мети використання лісосічних залишків, типів лісорослинних умов та різних видів рубок, у дисертації запропоновано відповідні норми їхнього використання. Запропоновані норми використання базуються на наукових розробках вчених з Інституту лісу НАН Республіки Білорусь (2017) щодо дослідження вмісту мінеральних елементів живлення у лісосічних залишках твердолистяних деревних видів та можливості їх використання для ґрунтопокращення, а також враховують виробничий досвід використання цього ресурсу галузевими регіональними підприємствами. Відповідні нормативи представлено у табл. 2 і табл. 3.

Таблиця 2

**Норма використання лісосічних залишків під час проведення рубок
формування і оздоровлення лісів у букових деревостанах
Буковинського Передкарпаття**

Фракція лісосічних залишків	Мета використання лісосічних залишків	Індекс типу лісорослинних умов	Норма використання лісосічних залишків, %
Гілки з листям, $d < 1$ см	середовищевірна	всі	100
	енергетична	всі	–
Гілки, $d > 1$ см	середовищевірна	B_2-B_3	60
		C_1, D_1	40
		C_2-C_3, D_2-D_3	50
		C_4, D_4	70
	енергетична	B_2-B_3	40
		C_1, D_1	60
		C_2-C_3, D_2-D_3	50
		C_4, D_4	30

Ключовий принцип формування наведених норм використання лісосічних залишків полягає у врахуванні трьох базових чинників впливу: трофотоп (для оцінювання необхідності підвищення поживних речовин у лісових ґрунтах), гігротоп (для оцінювання потенційної інтенсивності деструкції та гуміфікації порубкових залишків) і клас пожежної небезпеки (для прогнозування наслідків поширення лісової пожежі у місцях скупчення лісових горючих матеріалів). Варто зазначити, у локальних зонах значного рекреаційного навантаження під час пожежонебезпечного періоду норми використання лісосічних залишків з енергетичною метою пропонуємо збільшити на 10–20 %. Норми середовищевірної мети використання лісосічних залишків на лісосіках рубок головного користування нижчі порівняно з рубками формування та оздоровлення лісів.

Це зумовлено тим, що на таких ділянках до віку стиглості сформовано значно більший запас елементів мінерального живлення порівняно з молодняками та середньовіковими насадженнями.

Таблиця 3

**Норма використання лісосічних залишків під час проведення рубок
головного користування у букових деревостанах
Буковинського Передкарпаття**

Фракція лісосічних залишків	Мета використання лісосічних залишків	Індекс типу лісорослинних умов	Норма використання лісосічних залишків, %
Гілки з листям, $d < 1 \text{ см}^*$	середовищевірна	всі	100
	енергетична	всі	–
Гілки, $d > 1 \text{ см}$	середовищевірна	B_2-B_3	40
		C_1, D_1	20
		C_2-C_3, D_2-D_3	30
		C_4, D_4	50
	енергетична	B_2-B_3	60
		C_1, D_1	80
		C_2-C_3, D_2-D_3	70
		C_4, D_4	50

Використана у дисертації методика із запропонованими доповненнями дозволяє здійснити кількісну оцінку енергетичного потенціалу згаданих структурних складових деревної біомаси букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, забезпечуючи базові засади сталого розвитку лісогосподарського виробництва.

Розділ 4 Динаміка таксаційних показників та енергетична функція букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. У науковому лісотаксаційному середовищі існує думка, що перевага використання регіональних таблиць ходу росту полягає у можливості вивчення, описування та оцінювання динамічних процесів в лісових насадженнях з урахуванням впливу сукупності локальних чинників, які формують особливості росту і розвитку лісових насаджень в умовах конкретних природних територій (Бала О. П., 2019; Білоус А. М., 2016; Василюшин Р. Д., 2016; Лакида П. І., 2002; Миклуш С. І., 2011; Швиденко А. З. та ін., 2008).

У результаті проведеного пошуку запропоновано математичну модель середньої висоти природних модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, яка базується на ростовій функції Мітчерліха, характеризується високим коефіцієнтом детермінації ($R^2=0,96$) й має наступний вигляд:

$$H_{сер} = (1,1902 \cdot (1 - \exp(-0,02 \cdot A))^{1,8311}) \cdot H_{120}^{баз}. \quad (1)$$

де $H_{сер}$ – середня висота деревостану, м; A – вік деревостану, років; a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти регресії; $H_{120}^{баз}$ – середня висота деревостану в базовому віці.

Для моделювання динаміки середнього діаметра використано його алометричну залежність від таких таксаційних показників як вік (A), середня

висота ($H_{сер}$) та відносна повнота (P) модального деревостану. У результаті одержано математичну модель, яка з високим рівнем ($R^2=0,93$) описує динаміку середнього діаметра природних модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. Її загальний вигляд наступний:

$$D_{сер} = 0,5677 \cdot A^{0,4463} \cdot H_{сер}^{0,6191} \cdot P^{-0,0885} \quad (2)$$

Аналогічну математичну залежність встановлено також і для динаміки відносної повноти деревостану, яка є складовою моделі середнього діаметра та має такий вигляд:

$$P = 1,4073 \cdot A^{-0,3814} \cdot H_{сер}^{0,2892} \quad (3)$$

Запас деревостану – один з базових таксаційних показників, що визначає його продуктивність. Для моделювання динаміки запасу (M) природних модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття використано математичну залежність, яка поєднує ростову функцію з степеневою залежністю від таких таксаційних показників як середня висота, середній діаметр та відносна повнота деревостану. Представлена залежність досить добре описує вихідні дослідні дані, про що свідчить значення коефіцієнта детермінації ($R=0,95$).

$$M = (17,6581 \cdot (1 - \exp(-0,0216 \cdot A))^{0,4708}) \cdot H_{сер}^{0,9552} \cdot D_{сер}^{0,0609} \cdot P^{0,7922} \quad (4)$$

Одержані моделі динаміки основних таксаційних показників модальних букових деревостанів є базисом для опрацювання відповідних таблиць ходу росту. Графічна інтерпретація змодельованих динамічних трендів у межах досліджуваних деревостанів наглядно відображена на рис.

Фрагмент таблиць ходу росту природних модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття I^a класу бонітету наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Хід росту модальних природних букових деревостанів I^a класу бонітету в умовах Буковинського Передкарпаття

Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Кількість дерев, шт.	Сума площ поперечних перерізів, м ² га ⁻¹	Запас, м ³ га ⁻¹	Зміна запасу, м ³ га ⁻¹ рік ⁻¹		Загальна продуктивність, м ³ га ⁻¹	Загальний приріст, м ³ га ⁻¹ рік ⁻¹	
						середня	поточна		середній	поточний
10	1,8	2,3	15866	6,9	11	1,12	2,40	19	1,92	4,47
20	5,4	6,3	4846	15,0	47	2,33	4,43	83	4,15	7,71
30	9,5	10,7	2191	19,8	97	3,24	5,45	168	5,61	8,96
40	13,7	15,3	1239	22,8	154	3,84	5,68	259	6,48	8,99
50	17,6	19,8	803	24,7	210	4,19	5,39	346	6,93	8,34
60	21,2	24,1	569	25,9	261	4,35	4,83	425	7,09	7,38
70	24,3	28,1	431	26,8	306	4,37	4,16	494	7,05	6,27
80	27,0	31,9	343	27,4	344	4,30	3,47	551	6,89	5,22
90	29,3	35,5	283	27,9	375	4,17	2,83	598	6,65	4,26
100	31,3	38,8	239	28,2	401	4,01	2,24	636	6,36	3,42
110	32,9	41,8	207	28,4	421	3,82	1,74	667	6,06	2,70
120	34,3	44,7	182	28,5	436	3,63	1,31	691	5,76	2,10

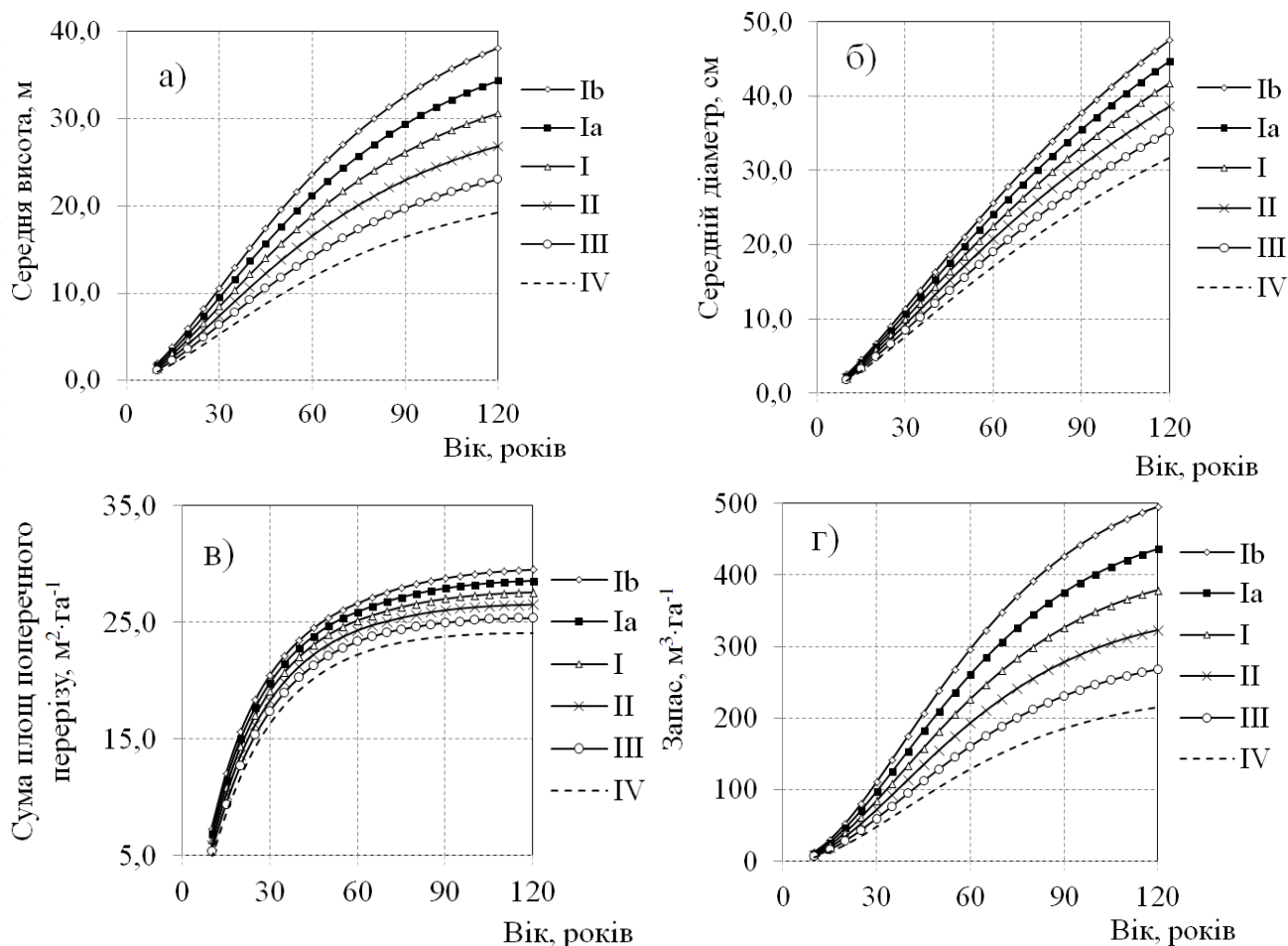


Рис. Динаміка основних таксаційних показників модальних природних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття: а) середньої висоти; б) середнього діаметра; в) суми площ поперечного перерізу; г) запасу

Розроблені таблиці ходу росту відображають особливості формування природних букових деревостанів в умовах Буковинського Передкарпаття та є складовою системи нормативно-інформаційного забезпечення як лісогосподарського виробництва, так і лісотаксаційної науки.

Для ефективного вирішення завдань щодо оцінювання лісоенергетичних можливостей лісогосподарського виробництва в регіоні дослідження необхідна об'єктивна оцінка параметрів енергоємності та енергопродуктивності лісів, зокрема букових деревостанів. З цією метою у дисертації запропоновано кількісні значення питомої енергоємності та нормативно-довідкові матеріали для таксації енергоємності модальних букових деревостанів. Загалом розроблено дві групи нормативно-довідкових таблиць: таблиця питомої енергоємності та нормативи енергоємності фітомаси модальних букових деревостанів.

Для здійснення оцінювання питомої енергоємності надземної фітомаси деревостанів бука лісового в лісах Буковинського Передкарпаття та розроблення відповідних нормативно-довідкових матеріалів було досліджено показники природної та базисної щільності компонентів фітомаси (табл. 5).

Таблиця 5

**Щільність компонентів фітомаси дерев бука лісового
у деревостанах Буковинського Передкарпаття**

Компонент фітомаси	Середня щільність компонентів фітомаси, кг·(м ³) ⁻¹		
	деревина	кора	деревина + кора
<i>Природна щільність</i>			
Стовбур	1053±42	1077±56	1055±51
Гілки крони	1078±60	1139±67	1085±63
<i>Базисна щільність</i>			
Стовбур	613±18	548±24	609±21
Гілки крони	625±23	616±32	623±26

Узагальнені показники базисної щільності компонентів фітомаси та згадані кількісні параметри енергоємності однієї тонни вуглецю, депонованого у фітомасі (Shvidenko A. et al., 2004) стали основою для розрахунку показників їхньої питомої енергоємності (табл. 6).

Таблиця 6

**Питома енергоємність компонентів фітомаси дерев бука лісового
у деревостанах Буковинського Передкарпаття**

Компонент фітомаси	Вміст енергії в абсолютно сухій речовині компонентів фітомаси, ГДж·(м ³) ⁻¹		
	деревина	кора	деревина + кора
Стовбур	10,677	8,916	10,590
Гілки крони	10,874	10,121	10,738

Розроблення нормативно-довідкових матеріалів для оцінювання енергоємності компонентів надземної фітомаси деревостанів базувалася на відповідних математичних моделях, наведених у табл. 7.

Таблиця 7

**Математичні залежності для оцінювання енергоємності
компонентів надземної фітомаси букових деревостанів**

Математична залежність	Коефіцієнт детермінації
<i>Енергоємність деревини стовбурів</i>	
$E^{dep} = 0,0538 \cdot D^{-0,0732} \cdot H^{1,4310} \cdot P^{0,8378}$ (5)	0,96
<i>Енергоємність стовбурів у корі</i>	
$E^{cm} = 0,0559 \cdot D^{-0,1028} \cdot H^{1,4633} \cdot P^{0,8434}$ (6)	0,94
<i>Енергоємність гілок крони</i>	
$E^{gl} = 0,0053 \cdot D^{2,1281} \cdot H^{-0,4338} \cdot P^{0,8895}$ (7)	0,78

Наведені математичні залежності було трансформовано у відповідні нормативно-довідкові таблиці. Входами у ці таблиці слугували середній діаметр, середня висота і відносна повнота деревостану.

Вказані таблиці забезпечуватимуть адекватні результати тільки у певному параметричному діапазоні, який визначається кількісними таксаційними показниками тимчасових пробних площ: середня висота від 4 до 28 м, середній діаметр – 4–32 см. Фрагмент вказаних матеріалів для оцінювання енергоємності

деревини стовбурів бука лісового у деревостанах з відносною повнотою 0,7 представлено в табл. 8.

Таблиця 8

Енергоємність деревини стовбурів бука лісового, ТДж·га-1

Середній діаметр, см	Середня висота, м												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
4	0,26	0,47											
6	0,25	0,45	0,69										
8		0,45	0,67	0,92	1,20								
10		0,44	0,66	0,91	1,18	1,47							
12			0,65	0,90	1,16	1,45	1,76						
14				0,89	1,15	1,44	1,74	2,06	2,39				
16					1,14	1,42	1,72	2,04	2,37	2,72			
18						1,41	1,71	2,02	2,35	2,69	3,05		
20							1,69	2,00	2,33	2,67	3,03	3,39	
22								1,99	2,31	2,65	3,00	3,37	
24									2,30	2,64	2,99	3,35	3,72

Запропоновані нормативно-довідкові матеріали дозволяють здійснити статичну оцінку енергоємності компонентів фітомаси букових деревостанів Буковинського Передкарпаття як на ділянках лісосічного фонду, так і в процесі їх відведення під рубки формування й оздоровлення лісів та встановити структуру енергетичної деревної сировини.

Оцінивши параметри загальної енергоємності компонентів фітомаси букових лісів Буковинського Передкарпаття у межах Чернівецької області, встановлено, що загальний вміст енергії у вказаних компонентах становить близько 320 ПДж ($320 \cdot 10^{15}$ Дж). За своїм еквівалентом це орієнтовно відповідає 10,8 млн т умовного палива.

У структурі загальної енергоємності домінують середньовікові букові деревостани насінневого природного походження, частка яких становить 47 %. Загалом на деревостани насінневого природного походження припадає близько 97 % від загального обсягу акумульованої енергії у фітомасі букових насаджень досліджуваного регіону. Варто також відмітити, що майже 80 % енергії акумульовано у середньовікових та пристиглих букових деревостанах.

Загалом у букових насадженнях Буковинського Передкарпаття щороку продукується понад 15 ПДж енергії у вигляді живої органічної речовини, що становить 32 % у загальній структурі енергопродуктивності лісів регіону. Букові деревостани за цим показником тут переважають ялинові, дубові та ялицеві деревостани, частка яких становить 23,1 %, 22,9 та 16,3 % відповідно. Найвищі показники енергопродуктивності характерні для середньовікових букових деревостанів, які становлять $7,98 \text{ ПДж} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $260 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$. Енергопродуктивність стиглих та перестійних букових деревостанів характеризується показником на рівні $200 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Загальні кількісні параметри визначених типів енергетичного потенціалу деревної біомаси у об'ємних та вагових одиницях, а також у одиницях первинної енергії, наведені у табл. 9.

Таблиця 9

**Щорічний енергетичний потенціал деревної біомаси
у букових деревостанах Буковинського Передкарпаття**

Вид деревної біомаси	Кількісний показник потенціалу			
	тис. м ³	тис. т*	ПДж	тис. т у. п.
<i>Теоретично можливий</i>				
Дров'яна стовбурова деревина	226,9	116,9	2,09	71,2
Лісові деревні відходи	125,2	66,0	1,18	40,2
Лісопромислові деревні відходи	38,2	16,8	0,30	10,3
Разом	390,3	199,6	3,57	121,7
<i>Технічно доступний</i>				
Дров'яна стовбурова деревина	181,5	93,5	1,67	57,0
Лісові деревні відходи	99,8	52,6	0,94	32,1
Лісопромислові деревні відходи	12,8	5,6	0,10	3,4
Разом	294,1	151,7	2,71	92,5
<i>Екологічно безпечний</i>				
Дров'яна стовбурова деревина	145,5	74,9	1,34	45,7
Лісові деревні відходи	54,1	28,5	0,51	17,4
Лісопромислові деревні відходи	12,8	5,6	0,10	3,4
Разом	212,4	109,1	1,95	66,5
<i>Економічно доцільний</i>				
Дров'яна стовбурова деревина	137,9	71,0	1,27	43,3
Лісові деревні відходи	12,8	6,7	0,12	4,1
Лісопромислові деревні відходи	12,8	5,6	0,10	3,4
Разом	163,5	83,4	1,49	50,8
<i>Соціально зумовлений</i>				
Дров'яна стовбурова деревина	107,6	55,5	0,99	33,8
Лісові деревні відходи	10,6	5,6	0,10	3,4
Лісопромислові деревні відходи	12,8	5,6	0,10	3,4
Разом	130,9	66,7	1,19	40,6

Примітка. У абсолютно сухому стані

У загальній структурі соціально зумовленого енергетичного потенціалу деревної біомаси частка дров'яної стовбурової деревини досягає майже 83 %. На лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи припадає менше 20 %. При цьому, понад 60 % потенціалу дров'яної стовбурової деревини й потенціалу лісопромислових деревних відходів щороку споживається для суспільних енергетичних потреб. Реальний незадіяний потенціал становить близько 0,5 ПДж. Щільність енергетичної деревної біомаси у межах соціально зумовленого потенціалу змінюється від 1630 КДж·(м²)⁻¹ для дров'яної стовбурової деревини, до 160 КДж·(м²)⁻¹ для лісових деревних відходів.

Еколого-економічна оцінка використання енергетичного потенціалу букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, що відповідає принципам сталого лісоуправління, базується на встановленні обсягів зменшення викидів

CO₂ та відповідної фінансової вигоди від заміщення викопних видів енергетичних ресурсів біомасою. У результаті встановлено, що економічні показники щорічного використання соціально зумовленого енергетичного потенціалу деревної біомаси букових деревостанів знаходяться на рівні 130 млн грн, при цьому забезпечується на понад 70 тис. т зменшення викидів CO₂.

Узагальнюючи питання еколого-економічної оцінки сталого багатоцільового використання деревної біомаси у букових лісах Буковинського Передкарпаття та її значення для забезпечення енергетичної стабільності Чернівецької області, варто зазначити, що лісові ресурси у регіоні є визначальним чинником еколого-енергетичної безпеки, економічної та соціальної складової розвитку місцевих територіальних громад.

ВИСНОВКИ

У дисертації з використанням базових принципів системного підходу одержано комплексні результати, які відображають особливості росту та енергетичний потенціал букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. За результатами дисертаційного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Активізація діяльності у напрямі впровадження механізмів запобігання глобальним кліматичним змінам, стимулює розвиток відновлювальної енергетики, важливою складовою якої є деревна біомаса лісів. Світові наукові тенденції досліджень у цьому напрямі відображають необхідність розроблення регіональних та глобальних моделей для здійснення надійного інформаційного супроводу системи ефективного управління лісовими ресурсами.

2. Лісівничо-таксаційна характеристика букових лісів Буковинського Передкарпаття слугувала інформаційним базисом для дослідження особливостей їхнього росту та енергетичної функції. У цьому контексті встановлено, що модальні букові деревостани в регіоні дослідження займають площу 60,6 тис. га вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок та характеризуються наступними середніми таксаційними показниками: вік – 76 років, висота – 23,1 м, діаметр – 29,2 см, стовбуровий запас 228 м³·(га)⁻¹. У регіоні дослідження домінують природні букові деревостани, частка яких становить понад 90 %.

3. Основою для виконання завдань дисертаційного дослідження слугували показники 27 тимчасових пробних площ з рубкою та фракційною оцінкою 132 модельних дерев. Переважна більшість тимчасових пробних площ (20 шт.) закладено здобувачем у букових деревостанах Чернівецької області, решта – 7 шт., науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України. Дослідні дані репрезентативно описують букові деревостани Буковинського Передкарпаття.

4. Здійснено удосконалення існуючих методичних підходів оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси через запровадження орієнтовних

норм використання лісосічних залишків під час проведення рубок у букових деревостанах регіону дослідження. Згадані норми дозволять здійснити точніше оцінювання екологічно безпечного енергетичного потенціалу лісових деревних відходів.

5. Розроблено систему моделей динаміки таксаційних показників і регіональні таблиці ходу росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, які відображають особливості їх росту та слугують доповненням до чинного нормативного інструментарію лісогосподарського виробництва у Чернівецькій області.

6. Основою для встановлення енергетичної структури лісових ділянок під час таксації лісосік, слугуватиме розроблене нормативно-інформаційне забезпечення для статичної оцінки питомої та загальної енергоємності компонентів фітомаси модальних букових деревостанів: деревини стовбура, стовбура у корі та гілок крони.

7. Встановлено, що загальна енергоємність рослинної біомаси букових деревостанів Буковинського Передкарпаття становить близько 320 ПДж, або 10,8 млн т умовного палива. Енергопродуктивність досліджуваних насаджень складає понад 15 ПДж енергії у вигляді живої органічної речовини. Найпродуктивніші за цим показником середньовікові деревостани забезпечують енергопродуктивність на рівні $7,98 \text{ ПДж} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $260 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

8. Кількісні значення теоретично можливого, технічно доступного, екологічно безпечного, економічно доцільного та соціально зумовленого типів енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах досліджуваного регіону змінюються від 3,6 до 1,2 ПДж. Соціально зумовлений енергетичний потенціал деревної біомаси, який враховує потребу місцевих жителів на забезпечення базових потреб у паливних енергетичних ресурсах, становить 1,19 ПДж, що еквівалентно 130,9 тис. м^3 .

9. Використання енергетичного потенціалу букових деревостанів, як складової регіональної стратегії низьковуглецевого розвитку, з різними рівнями екологічних, економічних та соціальних обмежень дозволить забезпечити зменшення викидів CO_2 на рівні 70–120 тис. т та економічний результат у вигляді фінансової вигоди на рівні 130–220 млн грн (зменшення витрат на вуглецевий податок і закупівлю природного газу) від заміщення викопних видів енергетичних ресурсів.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За результатами дисертаційного дослідження для вирішення завдань щодо збільшення частки відновлювальних джерел у структурі енергетичного сектору Чернівецької області та сприяння у регіоні низьковуглецевому промисловому розвитку, запропоновано наступні матеріали для використання зацікавленими суб'єктами лісогосподарського, деревообробного й енергетичного виробництва:

- таблиці ходу росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття;
- кількісні показники питомої енергоємності компонентів фітомаси дерев бука лісового в умовах Буковинського Передкарпаття;
- норми використання лісосічних залишків під час проведення рубок формування і оздоровлення лісів та рубок головного користування у букових деревостанах Буковинського Передкарпаття, залежно від типів лісорослинних умов;
- кількісні значення п'яти типів (теоретично можливого, технічно доступного, екологічно безпечного, економічно доцільного та соціально зумовленого) енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах Буковинського Передкарпаття.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України,

включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. Васишин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Васишин О. М. Біопродуктивність твердолистяних насаджень Українських Карпат. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 219. С. 18–25. *(Здобувачем особисто закладено частину тимчасових пробних площ та відібрано дослідні зразки для оцінювання фітомаси букових деревостанів в умовах Буковинського Передкарпаття).*
2. Васишин Р. Д., Шевчук О. В., **Слюсарчук В. В.**, Юрчук Ю. М. Методичні особливості оцінювання енергетичного потенціалу біомаси лісопромислових деревних відходів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 266. С. 38–45. *(Здобувачем особисто проаналізовано екологічні та економічні обмеження щодо використання лісопромислових деревних відходів у межах Буковинського Передкарпаття).*
3. Слюсарчук В. В. Середня щільність компонентів фітомаси стовбурів дерев бука лісового у насадженнях Буковинського Передкарпаття. Лісове і садово-паркове господарство. 2018. Вип. 14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgos_2018_14_10.
4. Слюсарчук В. В. Сучасний стан і продуктивність букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2018. Вип. 288. С. 134–143.
5. Васишин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Лакида І. П. Енергетична функція букових лісів Буковинського Передкарпаття. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. 2019. Вип. 45. С. 60–66. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ та відібрано дослідні зразки фітомаси для комплексного оцінювання енергетичної функції букових лісів досліджуваного регіону).*

6. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Лакида І. П. Хід росту модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2020. Vol. 11. № 1. С. 24–33. *(Здобувачем особисто здійснено розроблення моделей динаміки таксаційних показників та таблиць ходу росту букових лісів досліджуваного регіону).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

7. Лакида П. И., Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Василюшин О. Н. Модели и нормативно-справочные таблицы для оценки надземной фитомассы древостоев главных лесобразующих пород Украинских Карпат. Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. Вып. 1 (100). С. 34–39. *(Здобувачем особисто закладено частину тимчасових пробних площ, з яких відібрано дослідні зразки для розрахунку показників середньої щільності компонентів фітомаси дерев бука лісового у модальних деревостанах досліджуваного регіону й опрацьовано показники).*

Науково-методичні рекомендації

8. Василюшин Р. Д., Домашовець Г. С., Терентьев А. Ю., **Слюсарчук В. В.**, Василюшин О. М., Шевчук О. В., Лахович Ю. Г. Нормативно-інформаційне забезпечення для таксаційної оцінки енергоємності компонентів фітомаси деревостанів та енергопродуктивності лісових насаджень (на прикладі деревостанів Українських Карпат): науково-методичні рекомендації. К., 2017. 34 с. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ, відібрано дослідні зразки для оцінювання фітомаси та опрацьовано частину нормативних таблиць для таксаційної оцінки енергоємності компонентів фітомаси букових деревостанів).*

9. Василюшин Р. Д., Лакида П. І., Терентьев А. Ю., Василюшин О. М., Шевчук О. В., **Слюсарчук В. В.**, Юрчук Ю. М. Кількісна оцінка енергетичного потенціалу біомаси лісів (на прикладі лісів Українських Карпат): науково-методичні рекомендації. К., 2018. 18 с. *(Здобувачем особисто опрацьовано екологічні обмеження щодо використання енергетичного потенціалу деревної біомаси букових лісів Буковинського Передкарпаття).*

Тези наукових доповідей

10. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.** Динаміка енергопродуктивності штучних букових деревостанів Українських Карпат. Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповідей. К., 2015. С. 19–20. *(Здобувачем особисто оцінено динаміку продуктивності букових деревостанів).*

11. Vasylyshyn R., Domashovets G., Vasylyshyn O., **Slyusarchuk V.** Net primary production of the forest ecosystems of Bucovina part of Precarpathians. Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 07–09 жовтня 2015 року:

тези доповідей. К., 2015. С. 55. *(Здобувачем особисто оцінено динаміку продукції фітомаси букових деревостанів).*

12. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Лакида М. О., Василюшин О. М., Слива О. А. Концептуальні напрями інтенсифікації сталого використання еколого-енергетичного потенціалу лісових фітоценозів. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповідей. К., 2015. С. 104–105. *(Здобувачем особисто опрацьовано напрями інтенсифікації використання енергетичного потенціалу лісів Чернівецької області).*

13. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Василюшин О. М. Біоенергетична роль лісів Буковинського Передкарпаття. Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 65-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, м. Львів, 24 листопада 2015 року: тези доповідей. Львів, 2015. С. 25–26. *(Здобувачем особисто оцінено енергетичну роль букових лісів Чернівецької області).*

14. **Слюсарчук В. В.**, Штефюк М. Д., Лека О. Г. Щільність компонентів фітомаси крон дерев бука лісового у насадженнях ДП «Сторожинецьке лісове господарство». Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповідей. К., 2016. С. 67. *(Здобувачем особисто оцінено базисну щільність фітомаси крон дерев бука лісового).*

15. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Василюшин О. М. Структура та методичні особливості оцінювання загального енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів. Ліси Східної Європи у світі, що змінюється: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–30 вересня 2017 року: тези доповідей. К., 2017. С. 38–39. *(Здобувачем особисто опрацьовано окремі методичні складові оцінювання енергетичного потенціалу біомаси гірських лісів).*

16. Василюшин Р. Д., Шевчук О. В., **Слюсарчук В. В.** До питання методики оцінювання енергетичного потенціалу різних видів деревної біомаси лісів. Ліси Східної Європи у світі, що змінюється: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–30 вересня 2017 року: тези доповідей. К., 2017. С. 40–41. *(Здобувачем особисто опрацьовано окремі методичні складові оцінювання енергетичного потенціалу біомаси лісових деревних відходів).*

17. Василюшин Р. Д., Шевчук О. В., **Слюсарчук В. В.**, Юрчук Ю. М. До питання методики оцінювання енергетичного потенціалу біомаси лісопромислових деревних відходів. Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27 березня 2018 року: тези доповідей. К., 2018. С. 26–27. *(Здобувачем особисто опрацьовано окремі методичні складові оцінювання енергетичного потенціалу лісопромислових деревних відходів).*

18. Василюшин Р. Д., **Слюсарчук В. В.**, Домашовець Г. С. Енергоємність компонентів фітомаси дерев бука лісового у насадженнях Буковинського

Передкарпаття. Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 06–08 грудня 2018 року: тези доповідей. К., 2018. С. 38. (*Здобувачем особисто оцінено загальну енергоємність компонентів фітомаси дерев бука лісового*).

19. Слюсарчук В. В. Природна та базисна середня щільність стовбурів дерев бука лісового у насадженнях Буковинського Передкарпаття. Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 06–08 грудня 2018 року: тези доповідей. К., 2018. С. 122–123.

20. Слюсарчук В. В., Василичин Р. Д., Терентьев А. Ю. Енергетичний потенціал сухою дерев бука лісового у насадженнях Буковинського Передкарпаття. Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 18–19 квітня 2019 року: тези доповідей. Київ, 2019. С. 43. (*Здобувачем особисто оцінено ресурсний потенціал сухою у букових деревостанах Чернівецької області*).

21. Слюсарчук В. В., Василичин Р. Д. Енергопродуктивність модальних букових деревостанів Буковинського Передкарпаття у панівних типах лісу. Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 09–12 жовтня 2019 року: тези доповідей. К., 2019. С. 76–77. (*Здобувачем особисто оцінено енергопродуктивність букових деревостанів Буковинського Передкарпаття*).

АНОТАЦІЯ

Слюсарчук В. В. Особливості росту та енергетичний потенціал букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільсько-господарських наук зі спеціальності 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Дисертацію присвячено дослідженню особливостей росту та енергетичної функції букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, що слугуватиме інформаційним інструментарієм ведення ефективного лісового господарства і впровадження механізмів низьковуглецевого розвитку лісгосподарського виробництва. Вирішення згаданих завдань є досить актуальним для гірських умов Українських Карпат, у тому числі й Буковинського Передкарпаття.

Здійснено аналіз лісівничо-таксаційної структури букових деревостанів Буковинського Передкарпаття. Закладено тимчасові пробні площі для оцінювання ходу росту, структури компонентів біомаси та їхньої питомої енергоємності.

Досліджено параметри середньої питомої енергоємності та загальної енергопродуктивності. Оцінено загальні обсяги енергії, акумульованої у рослинній біомасі букових лісів Буковинського Передкарпаття й запропоновано відповідні нормативно-довідкові таблиці.

Здійснено оцінку п'яти типів енергетичного потенціалу деревостанів (теоретично можливий, технічно доступний, екологічно безпечний, економічно доцільний та соціально зумовлений).

Здійснено еколого-економічну оцінку використання енергетичного потенціалу букових деревостанів Буковинського Передкарпаття, що базується на встановленні обсягів зменшення викидів CO₂ та відповідної фінансової вигоди від заміщення викопних видів енергетичних ресурсів біомасою.

Ключові слова: бук лісовий, деревостан, таксаційна характеристика, хід росту, таблиці, енергоємність, енергетичний потенціал, стале використання, Буковинське Передкарпаття.

АННОТАЦІЯ

Слюсарчук В. В. Особенности роста и энергетический потенциал буковых древостоев Буковинского Прикарпатья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.03.02 «Лесоустройство и лесная таксация». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2020.

Диссертация посвящена исследованию особенностей роста и энергетической функции буковых древостоев Буковинского Прикарпатья, которая будет служить информационным инструментарием ведения эффективного лесного хозяйства и внедрения механизмов низкоуглеродистого развития лесохозяйственного производства. Решение упомянутых задач является весьма актуальным для горных условий Украинских Карпат, в том числе и Буковинского Прикарпатья.

Осуществлен анализ таксационной структуры буковых древостоев Буковинского Прикарпатья. Заложено временные пробные площади для оценки хода роста, структуры компонентов биомассы и их удельной энергоёмкости.

Исследованы параметры средней удельной энергоёмкости и общей энергопродуктивности. Оценены общие объёмы энергии, аккумулированные в растительной биомассе буковых лесов Буковинского Прикарпатья, а также предложены соответствующие нормативно-справочные таблицы.

Осуществлена оценка пяти типов энергетического потенциала древостоев (теоретически возможен, технически доступный, экологически безопасен, экономически целесообразен и социально обусловленный).

Осуществлена эколого-экономическая оценка использования энергетического потенциала буковых древостоев Буковинского Прикарпатья, которая базируется на установлении объёмов уменьшения выбросов CO₂ и соответствующей финансовой выгоды от замещения ископаемых видов энергетических ресурсов биомассой.

Ключевые слова: бук лесной, древостой, таксационная характеристика, ход роста, таблицы, энергоёмкость, энергетический потенциал, устойчивое использование, Буковинское Прикарпатье.

ANNOTATION

Slyusarchuk V. V. Peculiarities of Growth and Energy Potential of Beech Stands of Bukovyna Precarpathians. – The Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Agricultural Sciences in specialty 06.03.02 «Forest Inventory and Forest Mensuration». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the study of peculiarities of growth and energy function of beech stands in Bukovyna Precarpathians, which will serve as an information tool for efficient forest management and implementation of mechanisms of low-carbon development in forestry aimed at preventing and mitigating the effects of global climate change.

The solution of the mentioned problems is quite relevant for the mountain conditions of the Ukrainian Carpathians, including the Bukovyna Precarpathians. Aiming at the effective implementation of the paradigm of sustainable forest management in the Carpathian region of Ukraine, management decisions must be based not only on knowledge about the peculiarities of natural processes in forest plant communities, but also on understanding the social role of forests to meet the needs of local communities.

The object of research is represented by the bioproductive processes in modal stands of European beech in Bukovyna Precarpathians.

The subject of research is formed by the peculiarities of growth and energy potential of stands dominated by European beech in Bukovyna Precarpathians.

To study the peculiarities of growth and energy potential of beech stands we have used experimental data of 27 temporary sample plots (TSPs) with felling and biometric processing of 132 model trees (MTs), including 7 TSPs (50 MTs) selected from the research database of the Department of Forest Mensuration and Forest Management of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. To study the height growth patterns, data were collected from 1120 cross-sections of trunks, and to study the density of wood and bark of trunks, 66 experimental sections from 11 model trees were selected. To perform the tasks of the dissertation research, the method of collecting and processing the research material developed by Prof. P. I. Lakyda was used as a basis. The TSPs used in the study represent beech stands of the Bukovyna Precarpathians.

To estimate the energy potential using a system of mathematical equations has been applied, that reflect modern approaches to sustainable use of forest resources, developed by Prof. R. D. Vasylyshyn. At the same time, methodological approaches to assessing the environmentally safe energy potential of forest wood residues have been improved and adapted to the conditions of Bukovyna Precarpathians.

Modeling of the dynamics of biometric indicators of modal beech stands of natural origin was carried out using Mitcherlich growth function and allometric dependencies, which are capable of describing the features of growth processes in beech stands of the studied region.

The analysis of the characteristics of beech stands of the studied region, based on information from the relational database «Stand-level mensurational

characteristics of forests» (SMCF), provided for research by IA «Ukrderzhlisproekt», shows that beech is the second most common forest-forming tree species in the region with a share of 26.0 % or 60.6 thousand hectares. Seed natural beech stands dominate in Bukovyna Precarpathians, their share is 96.0 %.

The region is dominated by mid-aged beech stands, whose share in the structure of forest areas covered with forest vegetation is 46.7 %. At the same time, the share of mature stands is 15.6 %. The average age of the studied stands is 76 years. At the same time, they are mainly characterized by I (57.0 %) and I^a (over 25 %) site index classes.

As a result of dissertation research for modal beech stands of Bukovyna Precarpathians, a system of models of dynamics of biometric indices such as average height, average diameter, relative stocking and growing stock have been proposed. These mathematical dependences are characterized by a high level of approximation of the initial data and serve as a basis for the corresponding yield tables on the site index basis.

The yield tables of modal beech stand developed within the research fully reflect the peculiarities of their growth in the study region, as indicated by the results of their comparison with the existing standards for the Ukrainian Carpathians in general.

Quantitative values of specific energy content and reference materials for energy content assessment in modal beech stands are also proposed in the work. At the same time, two groups of reference tables have been developed: tables of specific energy content and energy content standards for modal beech stands live biomass.

Assessing the parameters of the total energy content in live biomass components of beech forests in Bukovyna Precarpathians within Chernivtsi region, it has been found that the total energy content in these components is about 320 PJ ($320 \cdot 10^{15}$ J). In terms of its equivalent, this is approximately 10.8 million tons of conventional fuel.

It is found that beech stands of Bukovyna Precarpathians annually produce more than 15 PJ of energy in the form of living organic matter, which is 32 % of the total energy productivity of forests in the region. According to this indicator, beech stands dominate spruce, oak and fir stands, the share of which is 23.1 %, 22.9, and 16.3 %, respectively.

An assessment of five types of energy potential of stands (theoretically possible, technically accessible, environmentally safe, economically feasible and socially conditioned) within the three structural components of wood biomass (trunk firewood, forest wood waste and timber wood waste) in volume and weight units, as well as in units of primary energy has been carried out. The quantitative value of the annual energy potential of wood biomass in beech forests of Chernivtsi region varies from 3.6 to 1.2 PJ depending on the type of potential. According to the results of the study, it was also established that the total volume of dead beech trees in the stands of the region is about 15 thousand m³.

In the overall structure of the socially determined energy potential of wood biomass, the share of trunk firewood reaches almost 83 %. At the same time, more

than 60 % of the studied potential is consumed annually for public energy needs. The density of energy wood biomass within the socially determined potential varies from $1630 \text{ KJ}\cdot(\text{m}^2)^{-1}$ for trunk firewood, to $160 \text{ KJ}\cdot(\text{m}^2)^{-1}$ for forest wood waste.

Environmental and economic assessment of the use of energy potential of beech stands of Bukovyna Precarpathians, which meets the principles of sustainable forest management, is based on establishing the reduction of CO_2 emissions and the corresponding financial benefit from the replacement of fossil energy resources with biomass. As a result, it is established that the use of the studied potential will reduce CO_2 emissions at the level of 70–120 thousand tons and the economic result in the form of financial benefits at the level of 130–220 million UAH from the replacement of fossil energy resources.

Key words: European beech, stand, biometric characteristics, growth pattern, tables, energy content, energy potential, sustainable use, Bukovyna Precarpathians.

Підписано до друку 01.10.2020 р. Формат 60x84\16
Ум. друк. арк. 0,9 Обл.-вид.арк. 0,9
Наклад 100 прим. Зам. № 200509

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011

