

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

**СИТНИК СВІТЛАНА АНАТОЛІЇВНА**

УДК 630.5.633.875.2:581.524:519.87(477:292.481)

**БІОПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ  
ПОТЕНЦІАЛ ДЕРЕВОСТАНІВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L.  
БАЙРАЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація»  
06.03.03 «Лісознавство і лісівництво»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора сільськогосподарських наук

Київ – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису  
Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природо-  
користування України Міністерства освіти і науки України

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

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук,  
професор, член-кореспондент НААН  
**Ткач Віктор Петрович**,  
Український ордена «Знак Пошани»  
науково-дослідний інститут лісового господарства  
та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького,  
директор

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

доктор біологічних наук  
**Черневий Юрій Іванович**,  
Прикарпатський фаховий коледж  
лісового господарства та туризму,  
директор

Захист відбудеться «03» березня 2021 року о 10<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. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

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

Автореферат розіслано «02» лютого 2021 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Зміни глобальних біосферних процесів, спричинені антропоцентричним принципом користування природними ресурсами, спонукають розглядати лісові екосистеми як головні елементи системи стабілізації стану довкілля. Без втручання в існуючі урбо- та агроекосистеми у масштабі біосфери можливо заліснити до 0,9 млрд га, що дозволить секвеструвати до 205 Гт вуглецю («Доповідь міжурядової групи експертів ООН зі зміни клімату», 2019).

Оцінювання середовищевірних та екосистемних функцій лісів має ґрунтуватися на визначенні біотичної продуктивності лісів. Вагомим напрацюванням у дослідженні біопродуктивності й екосистемних функцій лісів України викладено у фундаментальних наукових роботах П. І. Лакиди (2002, 2013), С. І. Миклуша (2007), А. М. Білоуса (2016), Р. Д. Василюшина (2016). Значним виявився внесок у розроблення системи оцінювання вуглецевого балансу лісового сектору держави українських лісівників, серед яких виокремлюються А. З. Швиденко (1987), П. І. Лакида (2001, 2013), В. П. Пастернак, І. Ф. Букша (2003), І. М. Шпаківська (2009).

Сьогодні в Україні накопичено нормативно-довідкові матеріали оцінювання надземної фітомаси основних лісотвірних видів лісів Українських Карпат, Полісся, Лісостепу. Водночас, дослідження біопродуктивності лісових насаджень у природній зоні степу залишаються фрагментарними й неповними. Найнижчий показник лісистості – 4,6 %, за науково обґрунтованого оптимального значення 8–10 % (Ткач В. П., 2012), структура лісів лісогосподарської області Байрачного степу, незначне різноманіття деревних лісотвірних видів, масштаби техногенної трансформації природних ландшафтів й емісій поллютантів свідчать про необхідність запровадження принципів сталого розвитку при веденні лісового господарства. Зазначене потребує відповідного наукового супроводу, оскільки лісові фітоценози характеризуються складною структурою та функціями, вплив на які без відповідного обґрунтування може викликати незворотні деструктивні процеси в екосистемах.

Саме тому актуальним завданням постає створення інформаційно-довідкової бази оцінювання біопродуктивності для регіональних лісових насаджень Байрачного степу. Вирішення цієї прикладної проблематики надасть можливість ґрунтовно вирішувати питання, пов'язані з проведенням екологічного моніторингу лісів та задовольняти інформаційні запити, які виникають під час вирішення багатьох енергетичних та екологічних проблем регіону.

Більш як сторічна історія використання робінії несправжньоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) у Байрачному степу України для цілей протиерозійного захисту ґрунтів та лісової рекультивації техногенно трансформованих ландшафтів довела доцільність функціонування робінієвих лісостанів у степовій природній зоні. Необхідність розвитку напрямів еколого-економічної ефективності лісокористування у Байрачному степу зумовили вибір теми, мети та завдань дисертаційного дослідження.

У зв'язку з викладеним, розроблення та впровадження системи математичних моделей для оцінювання біотичної продуктивності й екосистемних функцій, які забезпечують робінієві лісонасадження у Байрачному степу України, є актуальним механізмом реалізації принципів збалансованого ведення лісового господарства.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження за темою дисертації виконано у межах фундаментальних науково-дослідних тем: «Комплексна екологічна оцінка формування лісомеліоративних насаджень в умовах техногенно навантажених урболандшафтів» (номер державної реєстрації 0116U004738, 2016–2018 рр.) та «Концепція сталого функціонування лісонасаджень Північного Степу України в умовах абіотичної трансформації довкілля» (номер державної реєстрації 0118U003525, 2018–2020 рр.), до виконання яких здобувач залучалася як відповідальний виконавець та провідний науковий співробітник – виконавець окремих розділів.

**Мета та завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження – оцінювання біотичної продуктивності, екологічного й енергетичного потенціалу робінієвих деревостанів лісів Байрачного степу України.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

– дослідити відповідність ведення лісового господарства Гельсінським критеріям сталого розвитку у Байрачному степу України на регіональному рівні управління;

– визначити таксаційну структуру робінієвих насаджень на основі даних бази «Повидільна таксаційна характеристика лісів»;

– розробити систему математичних моделей для розрахунку якісних показників структурних компонентів стовбура й крони дерев робінії несправжньоакації;

– оцінити біотичну продуктивність дерев та деревостанів робінії несправжньоакації на основі математичних залежностей розрахунку фітомаси структурних компонентів;

– розробити алгоритм оцінювання продукції фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів та здійснити розрахунок її річного продукування у насадженнях лісогосподарської області Байрачного степу України;

– оцінити екосистемні функції робінієвих деревостанів – вуглецедепонування, киснепродуктивність, акумулювання неорганічних контамінантів;

– визначити енергетичну функцію робінієвих деревостанів і встановити параметри термодеструкції фітомаси стовбурів дерев.

*Об'єкт дослідження* – процеси нагромадження надземної фітомаси у деревостанах Байрачного степу України та їхній біотичний потенціал.

*Предмет дослідження* – біопродуктивність та екосистемні функції робінієвих деревостанів Байрачного степу України.

**Методи дослідження.** Дисертаційне дослідження виконано з використанням загальнонаукових і спеціальних методів лісової таксації та біометрії. Збір дослідного матеріалу базувався на методах аналізу та синтезу даних, спостереженні, порівнянні, вимірюванні.

За інформаційну базу дисертаційного дослідження слугували дослідні дані робінієвих деревостанів тимчасових пробних площ, закладених у Байрачному степу України, дані базового лісовпорядкування лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства станом на 01 січня 1973, 1978, 1983, 1996, 2002 та 2011 рр., а також реляційна база даних «Повидільна таксаційна характеристика лісів» Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2011 р. Первинне оброблення дослідних даних, отриманих у робінієвих насадженнях на тимчасових пробних площах здійснено за прикладними програмами ПЕРТА, PLOT, ZRIZ, CARBON. Для розроблення картографічного матеріалу використано програму QGIS.

Пошук та узагальнення взаємозв'язків біометричних показників дерев і деревостанів, розроблення математичних моделей інтегрувало підходи кореляційного й дисперсійного аналізів та методів математичного моделювання. Підбір параметрів математичних моделей у статистичній програмі IBM SPSS Statistics 23 базувався на методах описової статистики та нелінійної мінімізації суми квадратів відхилень. Точність й адекватність розроблених математичних регресійних моделей перевірено з використанням статистичних критеріїв (коефіцієнта детермінації –  $R^2$ ,  $F$ -критерію Фішера,  $t$ -критерію Стьюдента, аналізу розподілу залишків математичних рівнянь).

**Наукова новизна одержаних результатів.** На засадах системного підходу, базуючись на репрезентативному експериментальному матеріалі, зібраному за адаптованою лісотаксаційною методикою з використанням математико-статистичного інструментарію, досліджено біотичну продуктивність робінієвих деревостанів лісогосподарської області Байрачного степу України:

*вперше:*

– проаналізовано діяльність державних лісогосподарських підприємств Байрачного степу України на відповідність Гельсінським критеріям сталого управління лісами;

– визначено природну й базисну щільність компонентів фітомаси стовбурів та крон дерев робінії несправжньоакації;

– розроблено систему математичних моделей оцінювання надземної фітомаси структурних компонентів дерев і деревостанів робінії несправжньоакації у статистиці та їх річної продукції;

– розраховано конверсійні коефіцієнти компонентів надземної фітомаси робінієвих деревостанів;

– оцінено обсяги надземної фітомаси, річної продукції та стік вуглецю робінієвими деревостанами у лісах, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у Дніпропетровській області;

– розроблено інформаційно-довідкові дані фракційного складу надземної фітомаси дерев та деревостанів робінії несправжньоакації у лісогосподарській області Байрачного степу України;

– оцінено акумуляцію неорганічних металічних контамінантів у фітомасі деревини та кори стовбурів, листі й плодах дерев робінії несправжньоакації в умовах поліелементного забруднення ґрунту;

– побудовано картографічні матеріали акумуляції металів – Кадмію, Плюмбуму, Купруму, Мангану, Цинку та Нікелю у асиміляційній складовій робінієвих деревостанів у лісах Дніпропетровської області;

– отримано показники термодеструкції (теплові ефекти, енергія активації, енергоємність) фітомаси деревини та кори стовбурів дерев робінії несправжньо-акації;

– оцінено енергетичну функцію робінієвих деревостанів.

*обґрунтовано:*

– математичне забезпечення розрахунку обсягів структурних компонентів надземної фітомаси робінієвих деревостанів;

– алгоритм оцінювання річної продукції структурних компонентів надземної частини робінієвих деревостанів;

*подальший розвиток* набули теоретичні й практичні методи розроблення інформаційно-довідкових даних надземної фітомаси та продукції робінієвих деревостанів на основі математичних моделей.

**Практичне значення одержаних результатів.** Для використання у практиці ведення лісового господарства у зоні Байрачного степу пропонуються:

– математичні моделі для розрахунку середньої базисної і природної щільності компонентів стовбурів та крони дерев робінії несправжньоакації;

– інформаційно-довідкові дані структурних компонентів надземної фітомаси дерев та деревостанів робінії несправжньоакації;

– алгоритм оцінювання річної продукції надземної частини робінієвих деревостанів.

Компетентним органам у сфері моніторингу й охорони навколишнього природного середовища Дніпропетровської області запропоновано:

– карти акумулювання металічних елементів – головних складових техногенних емісій у асиміляційній складовій фітомаси робінієвих деревостанів;

– картографічний матеріал градієнтного розподілу річної продукції та депонованого вуглецю у робінієвих деревостанах за лісогосподарськими підприємствами Державного агентства лісових ресурсів України та адміністративними районами Дніпропетровської області.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства. Окремі положення та висновки дисертації використовуються у навчальному процесі під час викладання дисциплін «Інвентаризація лісів», «Моделювання продуктивності лісів» та «Регулювання продуктивності лісів» освітньо-професійної програми підготовки фахівців освітнього ступеня «Магістр» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертацію виконано на основі багаторічних наукових досліджень здобувача. Постановка проблеми, визначення мети та способів її досягнення здійснено безпосередньо здобувачем. У дисертації використано власні наукові ідеї. Особисто здійснено теоретичне узагальнення наукових положень оцінювання біотичної продуктивності, екологічного

й енергетичного потенціалу робінієвих деревостанів, опрацьовано алгоритм розрахунку продукції надземної частини робінієвих деревостанів Байрачного степу України, оцінено рівень депонування вуглецю й акумулювання неорганічних металічних контамінантів у фітомасі деревостанів робінії несправжньоакації, виконано розрахункову частину роботи, здійснено усі узагальнення за результатами дослідження та обґрунтовано висновки. Польові дослідження виконано за участі студентів кафедри садово-паркового господарства Дніпровського державного аграрно-економічного університету та співробітників кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення дисертації обговорено на: Міжнародній науково-практичній конференції «Історико-культурні та природоохоронні аспекти збереження багатовікових дерев» (м. Київ – м. Чигирин, 2013 р.); Міжнародній науковій конференції до 175-річчя Ботанічного саду імені академіка О. В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка (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 «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); VII Міжнародному науковому сільськогосподарському симпозиумі «Agrosym 2016» (м. Яхорина, Республіка Боснія і Герцоговина, 2016 р.); Міжнародній конференції «Динаміка біологічного та ландшафтного різноманіття заповідних територій» (м. Кам'янець-Подільський, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ресурсозберігаючі технології та їх правова і економічна оцінка в сільськогосподарському виробництві» (м. Київ, 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (м. Тернопіль, 2016 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки» (м. Умань, 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (м. Дніпро, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ліси східної Європи у світі, що змінюється» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній конференції «Applied Biotechnology in Mining» (м. Дніпро, 2018 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Відновлення біотичного потенціалу агроекосистем» (м. Дніпро, 2018 р.); I Міжнародному конгресі з питань сільського господарства та тваринництва (м. Шанлиурфа, Турецька Республіка, 2018 р.); III Всеукраїнській науковій конференції «Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2019» (м. Дніпро, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації» (м. Львів, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження члена-кореспондента НАН України, доктора біологічних наук, професора А. П. Травлеєва «Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження

лісових біогеоценозів Степової зони: історія, сучасність, перспективи» (м. Дніпро, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 100-річчю кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій «Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену» (м. Київ, 2019 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 69 наукових праць, з яких монографія у співавторстві, 20 статей у наукових фахових виданнях України, 10 статей у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus/Web of Science, 11 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 4 статті у наукових виданнях інших держав, 23 тези наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація містить анотації, перелік умовних позначень, вступ, шість розділів, висновки, пропозиції виробництву, список використаних джерел (619 найменувань) та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 565 сторінок. Основна частина дисертації містить 94 таблиці і 83 рисунки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «**Сталий розвиток лісів та лісового господарства Байрачного степу України**» проаналізовано функціонування лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства за Гельсінськими критеріями сталого управління лісами.

Сталий розвиток лісової галузі економіки України формулюють як управління і догляд за лісами, використання лісових угідь у такі способи, із запровадженням методів і прийомів, і з такою інтенсивністю, за яких забезпечувалися б формування та функціонування механізму підтримки стабільного розвитку екосистеми лісу та ландшафту у цілому, їхнього біорізноманіття, продуктивності, здатності до відновлення та спроможності виконання ними як нині, так і в майбутньому екологічних, економічних, соціальних та інших функцій на місцевому, національному і глобальному рівнях (Патлай І. М., Ткач В. П., Усцький І. М., 1998; Руденко Л. Г., 1998; Ткач В. П., Лавров В. В., Букша І. Ф., 2002). Збалансованість лісового господарства розуміють як забезпечення взаємозалежного дотримання економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної прийнятності у використанні лісових ресурсів (Фурдичко О. І., 2003).

Пріоритетними для України питаннями у площині реформування лісового господарства має бути гармонізація національного законодавства із лісовим законодавством Європейського Союзу (ЄС), впровадження інноваційної моделі розвитку галузі, заснованої на концепції сталого розвитку та управлінні лісами з використанням досвіду країн Європи (Єгорова Т. П., 2013, 2015). Головними принципами лісового законодавства ЄС визнано сталий лісовий менеджмент

та багатофункціональна роль лісів («Sustainable development. European list of criteria and most suitable quantitative indication», 1993).

Завдання для реалізації сталого лісового менеджменту в Україні мають бути визначені національною лісовою політикою, умови – сформовані національним лісовим законодавством, реалізація – забезпечена інституційною та організаційною структурами лісового господарства (Сторожук В. Ф., 2017). Перехід лісокористування України у русло сталого розвитку неможливий без переорієнтації розвитку лісової галузі держави з ресурсного на біосферний напрям, базисом якого слугує збалансований підхід до природокористування.

Україна зобов'язалася впроваджувати принципи сталого розвитку у лісову галузь у рамках Гельсінсько-Лісабонського процесу, що повинно сприяти взаємному узгодженню лісових стратегій країн помірної природно-кліматичної зони. Збалансоване управління лісами має чіткі критерії та індикатори, які характеризують ефективність ведення лісового господарства на рівні певного регіону. Відповідність фактичних функціональних показників лісового господарства у Байрачному степу України (лісогосподарські підприємства Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства) та методів його ведення принципам сталого управління лісами оцінено за базовими Гельсінськими критеріями («Johannesburg Declaration on Sustainable Development», 2002).

Загальна площа лісового фонду Дніпропетровської області становить 198,6 тис. га. З низки проблем лісового господарства у степовій природній зоні України вирізняється значна кількість, до двох десятків, балансоутримувачів лісових насаджень, що слід вказати однією з головних причин неузгодженості прийняття і реалізації управлінських рішень щодо здійснення лісогосподарської діяльності й охорони лісів.

Дніпропетровському обласному управлінню лісового та мисливського господарства належить 90,8 тис. га, або 45,7 % лісових насаджень регіону. Лісові культури у середньому за рік створюють на площі до 2,5 тис. га. Площа лісовідновлення і лісорозведення, яка необхідна для збільшення лісистості регіону до оптимальної науково обґрунтованої у 8–10 %, становить 32,3 тис. га. Збільшення площі лісів у регіоні дослідження не розглядається компетентними органами як дієвий механізм запобігання наслідкам зміни клімату у площині заходів, спрямованих на реалізацію положень Паризької кліматичної угоди. Станом на 01.01.2011 р. фітомаса лісових насаджень, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у Дніпропетровській області сягала 7,2 млн т, у якій акумульовано понад 3,6 млн т вуглецю зі щільністю 5,59 т·га<sup>-1</sup>. Найбільша частка у загальній фітомасі лісів припадає на фітомасу структурних компонентів стовбурів деревостанів.

Ліси, які належать центральному органу виконавчої влади, діяльність якого спрямована на ведення лісового господарства, за походженням переважно штучні, не мають промислового значення, виконують природоохоронні, рекреаційно-оздоровчі та захисні функції. Більшість лісів, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської

області (24,6 тис. га або 37,5 %) віднесено до функціональної категорії захисних лісів, які запобігають ерозії ґрунтів та затримують твердий стік.

Видовий склад деревних рослин, які формують ліси Байрачного степу України є нечисленний. Наявна майже однакова площа деревостанів трьох лісотвірних видів – твердолистяних – дуба звичайного й робінії несправжньо-акації та хвойного – сосни звичайної. Вікова структура лісів Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства незбалансована: наявне дворазове переважання площі з перестиглими лісами до площі лісонасаджень вікової групи молодняки.

У підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської області 12,5 тис. га земель державного лісового фонду знаходиться під об'єктами природно-заповідного фонду, що становить 22,7 % від площі загального фонду заповідних об'єктів і територій області. У досліджуваному регіоні ліс переважно штучного походження, сформований незначною кількістю лісотвірних видів із низькою соцологічною цінністю та характеризується найбільшим поширенням перестиглих насаджень. Природоохоронний статус об'єктів природно-заповідного фонду унеможлиблює здійснення лісогосподарських заходів, що призводить до формування деревостанів незадовільного фітосанітарного стану і робить сумнівною природоохоронну цінність об'єктів.

У лісах регіону дослідження осередків шкідників і хвороб виявлено на площі майже 9,0 тис. га (13,8 % від площі ділянок, вкритих лісовою рослинністю). Найбільшого поширення набули вогнища рудого соснового пильщика – 5,8 тис. га (92,1 % від площі деревостанів, пошкоджених хвоєгризучими шкідниками). Пошкодження деревостанів лісотвірних видів, спричинених листогризучими комахами діагностовано на площі у 2365 га, з домінуючою позицією пошкодження зеленою дубовою листовійкою.

Лісова промисловість в економіці Дніпропетровської області займає незначне місце. Заготівля ліквідної деревини у лісовому господарстві Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства становить до 34,3 тис. м<sup>3</sup>, у тому числі: пиломатеріали і заготовки круглі – 2,5 тис. м<sup>3</sup>; дров'яна деревина для технологічних потреб – 9,4 тис. м<sup>3</sup>; дрова для опалення – 21,7 тис. м<sup>3</sup>. Кваліфікованими трудовими ресурсами для ведення лісового господарства підприємства Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства забезпечені до 80 %.

Аналіз відповідності функціональних показників лісового господарства Байрачного степу України критеріям сталого розвитку свідчить про наявність достатньої кількості проблемних питань. Забезпечення сталого управління й ефективного вирішення проблем господарювання у лісах степової природної зони потребує конструктивного діалогу на загальнодержавному і регіональному рівнях між органами державного управління у лісовій галузі, об'єднаними територіальними громадами, громадськими природоохоронними організаціями задля розроблення й прийняття виважених доцільних управлінських рішень та їх реалізації у діяльності лісогосподарських підприємств.

У другому розділі «Біоекологічна характеристика *Robinia pseudoacacia* L. та природно-кліматичні умови регіону дослідження» проаналізовано абіотичні чинники Байрачного степу України та надано характеристику лісотвірному виду степової зони – робінії несправжньоакації.

*Robinia pseudoacacia* L. (робінія несправжньоакація, робінія звичайна, акація біла) рослина, яка належить до таксономічних одиниць – Class *Magnoliopsida*, Order: *Fabales*, Family *Fabaceae*, Subfamily *Faboideae*, Tribe *Robinieae*, Genus *Robinia* (<https://www.iucnredlist.org/species/19891648/20138922>).

Природний ареал *Robinia pseudoacacia* – Атлантично-північно-американська область Бореального підцарства Голарктичного царства (Little E. L., 1976; Тахтаджян А. Л., 1978). Робінія – один з найпоширеніших лісотвірних видів: за площею штучні деревостани цього виду знаходяться на другому місці у світі (Wojda T. et al, 2015). За оцінками (Li G., Xu G., Guo K., Du S., 2014) площа плантацій *Robinia pseudoacacia* за межами її природного ареалу перевищує 30 тис. км<sup>2</sup> у 35 країнах Європи, Азії, Південної Америки, Африки, Австралії та Нової Зеландії.

Робінія несправжньоакація, як швидкорослий, технічно цінний вид займає важливе місце у лісовому господарстві багатьох європейських країн (Radtke A. et al., 2013; Zverkovskyy V. M. et al., 2018). Переважно в ареалах інтродукції штучні робінієві насадження створюють з метою стабілізації порушеного й екологічно небезпечного довкілля – Плато Лоес (Китай), Західний Донбас (Україна), задля отримання головного ресурсу лісу – високоякісної деревини (Угорщина) та як швидкоросла «енергетична культура» для генерування біомаси (Німеччина). Оскільки поширення інтродукованих рослин може виявляти різноспрямовані впливи на природні й урбоєкосистеми, для правильного і, насамперед, об'єктивного розуміння процесу їх імплементації до фітоценозів, інвазії та їх наслідків, необхідний комплексний підхід, який оцінює вплив алохтонних рослин на структурні компоненти екосистем. Робінія несправжньоакація за відсутності догляду за насадженнями здатна інтенсивно розмножуватися вегетативно й утворювати монодомінантні угруповання. Проте за умови догляду проникнення у природні фітоценози не відбувається, тому за ступенем натуралізації згаданий вид відносять до епекофітів, тобто видів, які натуралізуються виключно в антропогенно трансформованих ландшафтах (Виноградова Ю. К., Куклина А. Г., Ткачєва Е. В., 2014).

Стратифікований підхід до лісових насаджень робінії несправжньоакації, який має поєднувати такі критерії: відповідність фізико-географічним і кліматичним умовам зростання, доцільність вибору функціонального призначення насадження, оптимальний лісівничий догляд з урахуванням біологічних і екологічних особливостей лісотвірного виду є доцільним варіантом для досягнення збалансованого функціонування лісових культур цього виду у ландшафтному просторі степових регіонів. Робінія несправжньоакація – поліморфний вид, в Україні виділено морфологічні форми зі значним лісокультурним потенціалом, перспективні для степового лісового господарства (Коханий С. Г., 1979, 2010). На дослідження особливостей функціонування цього лісотвірного виду у степовій природній зоні спрямовано роботи

В. И. Гримальского, 1958; Н. А. Лохматова, 1985, 1985, 1999; Н. А. Лохматова, Г. Б. Гладуна, 2004; А. Н. Масюка, 2006, 2009; В. В. Танюкевич, 2011; В. В. Танюкевич, М. А. Заприводи, 2013; О. И. Бабошко, В. В. Танюкевич, 2015.

Надземна фітомаса дерев робінії несправжньоакації має потужний господарський потенціал завдяки значному різноманіттю вторинних метаболітів вегетативних і генеративних органів. До складу вегетативних надземних органів входять похідні гідроксикоричної кислоти: *n*-кумарова, хлорогенова, ферулова кислоти; кумарини: умбеліферон, скополетин, дафноретин; флавоноїди: кемпферол, кверцетин, робінін, мірицетин, лінарин; токофероли (Tian F., McLaughlin J., 2000; Sergent T., 2014). Кора стовбура містить до 4,0 % дубильних речовин конденсованої групи; токсальбумін робінін; ефірну олію; тритерпенові сапоніни: робініозиди E-J, основу яких становлять аглікон абрисапогенін; фітостерин і стигмастерин (Cui B., Kinjo J., Nohara T., 1992, 1993). Щодо деревини спостерігається наявність флавоноїдів: робінетину, дигідроробінетину, робінетинідолу, лейкоробінетинідину, камеді – полісахаридного колоїду, який містить кальцієву сіль арабінової кислоти (Rahmonov O., 2009; Sanz M. et al., 2011).

Переважає більшість сучасної наукової літератури висвітлює ремедіаційний потенціал лісових культур робінії несправжньоакації (Hongxiang P. et al., 2016; Qin J. et al., 2016; Duan L. et al., 2017; Mao P. et al., 2017; Yang S. et al., 2017; Aman M. et al., 2018). Масштабні дослідження меліоративних морфологічних, фізіологічних, екологічних, стехіометричних властивостей *Robinia pseudoacacia* здійснюються у рекультиваційних насадженнях Плато Лоес (Центральний Китай). Результатами досліджень алохтонних видів у еродованому Плато Лоес *Robinia pseudoacacia* визнана найперспективнішим видом (Mao P. et al., 2017; Chen I. et al., 2018; Liang L. H. et al., 2018; Liu D., Huang Y., Sun H., An S., 2018; Liu J., 2018).

Визначення пріоритетів менеджменту робінієвих насаджень неможливе без розуміння екологічної природи й економічного значення виду, врахування інтересів як природоохоронців, так і лісівників. Лісова рекультивація – найважливіший механізм нівелювання антропопресії на довкілля, один з основних управлінських підходів до вирішення проблем, викликаних природною ерозією ґрунтів та техногенною трансформацією ландшафтів.

В Україні використання *Robinia pseudoacacia* як середовищетвірної рослини має значну історію. Меліоративний потенціал робінії при рекультивації трансформованих ландшафтів у Байрачному степу України доведено у роботах В. М. Зверковського (1999), А. Н. Масюка (2006, 2009), Ю. І. Грицана (2000), В. В. Танюкевич, М. А. Заприводи (2014), V. Zverkovskyu et al. (2017), V. Zverkovskyu et al. (2018).

У степовій природній зоні України робінієві насадження створювали протягом останніх ста років (Лохматов Н. А., Гладун Г. Б., 2004). Уперше їх було закладено у степових лісництвах у 1860–1880 рр., у 30-ті роки ХХ сторіччя посаджено численні полезахисні смуги. Робінію використовували для залісення яружно-балкових систем і еродованих схилів. Тривалі дослідження з використання робінії несправжньоакації як фітомеліоранта дозволили визнати згаданий вид

найперспективнішим для цілей біологічної рекультивації порушених земель у степовій зоні.

Аналіз історичних і сучасних наукових робіт українських і закордонних дослідників, які присвячені всебічному дослідженню біологічного виду *Robinia pseudoacacia*, її поширенню за межі природного ареалу, результатам інтродукції, екологічній стратегії виду і, найголовніше, різним аспектам господарського і ремедіаційного потенціалу, дозволяють констатувати доцільність вибору робінії для дисертаційного дослідження.

У Байрачному степу України контроль та ефективний менеджмент штучними насадженнями робінії несправжньоакації, як швидкорослого, технічно-цінного лісотвірного виду, може забезпечити їх доцільне функціонування на регіональному рівні, сприяти вирішенню енергетичних питань, надавати екосистемні функції – продукувати кисень і депонувати вуглець техногенного походження. Значний фіторемедіаційний потенціал дозволить отримувати економічні дивіденди при залученні цього виду до складу рекультиваційних насаджень на порушених ерозією ґрунтах та техногенно змінених ландшафтах розробок покладів корисних копалин, що відноситься до низки актуальних екологічних проблем регіону дослідження.

Серед основних регуляторів функціонування інтродукованих рослин при створенні лісових культур вирізняються фізико-географічні й кліматичні умови території культивування. Ріст і розвиток лісових насаджень зумовлені значним числом абіотичних факторів, проте лімітуючими, насамперед, виступають кліматичні та едафічні. Відповідність умов зростання екологічним вимогам деревних лісотвірних видів слугує запорукою успішності створення і подальшого функціонування лісостанів у межах нових географічних зон, які за фізико-географічними умовами можуть значно відрізнитися від природних ареалів.

Сучасну наукову основу ведення лісового господарства в Україні становить комплексне лісгосподарське районування, запропоноване С. А. Генсіруком (2002), яке надає можливості визначення пріоритетних напрямів користування лісом з метою підвищення їх середовищевірної ролі, розроблення ефективних методів і способів відновлення лісів, механізмів захисту та охорони лісових насаджень. При виділенні лісгосподарських округів урахувалися геолого-геоморфологічні особливості, показники лісистості, цільове призначення лісів, характер панівних рослинних формацій, специфіка лісовідновних заходів, переважання основних лісотвірних видів, їх продуктивність, обсяг користування лісом, інтенсивність лісгосподарського виробництва, промисловий комплекс, ступінь урбанізації, зони сільсько-господарської спеціалізації, структура природно-заповідного фонду. Врахування комплексу різноманітних природних і господарчих факторів надає цій методиці певної об'єктивності та значної науково-практичної цінності. Вищезазначене стало підґрунтям вибору території регіону дослідження – лісгосподарської області Байрачного степу України.

Дослідження, спрямоване на оцінювання біопродуктивності дерев і деревостанів робінії несправжньоакації за компонентами надземної фітомаси,

встановлення їх екологічного й енергетичного потенціалу проведено у Правому Лівобережно-Дніпровських північностепових округах лісогосподарської області Байрачного (Північного) степу України, що потребує детального аналізу геоморфологічних, едафічних та кліматичних умов культивування згаданого лісотвірного виду у регіоні дослідження (рис. 1).

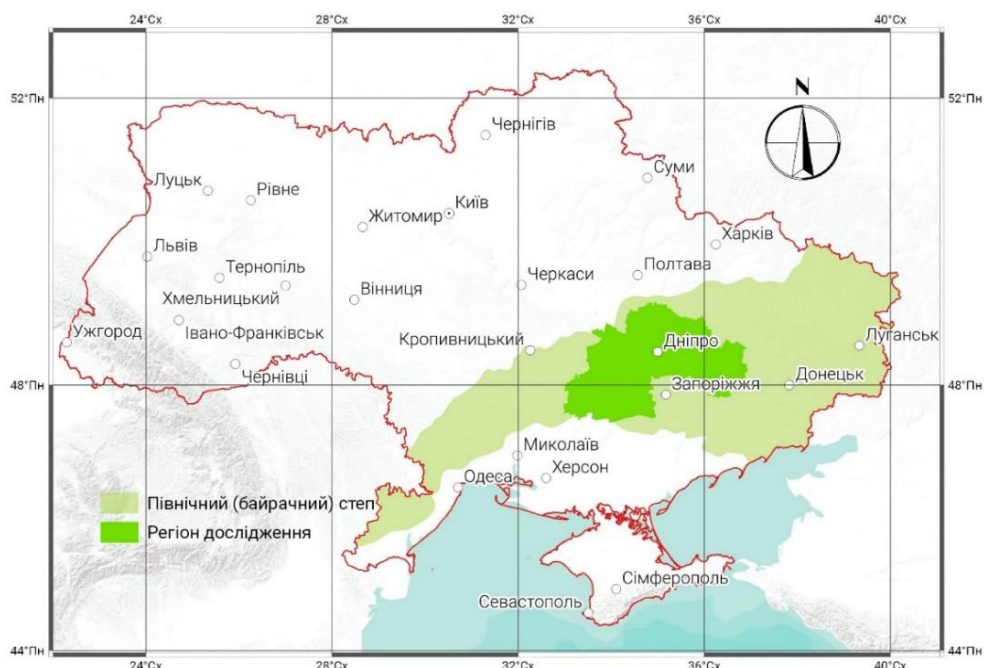


Рис. 1. Регіон дослідження робінієвих деревостанів у Байрачному степу України

Територія Байрачного степу України належить до помірно посушливої степової північної ґрунтово-екологічної зони, степової північно-центральної підзони (Бекаревич Н. Е., Левицина Н. И., Сонько М. П., 1966). Найбільш поширеною зональною генетичною групою ґрунтів є чорноземи звичайні, які утворилися на лесових суглинках під різнотравною і типчаково-ковиловою степовою рослинністю в умовах посушливого клімату, періодично промивного водного режиму і глибокого залягання ґрунтових вод (Цветкова Н. Н., 1992). Потужність чорноземних ґрунтів становить 60–80 см, вміст гумусу від 4,0 до 6,5 %, реакція ґрунтового розчину нейтральна або слаболужна.

Байрачний степ України розташований у помірному кліматичному поясі в області м'якого помірно континентального клімату. Величини річної сумарної сонячної радіації змінюються з півночі на південь від 4200 до 4400 МДж·(м<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>, сума активних температур вище 10 °С – від 2700 до 3400 (Горб А. С., Дук Н. М., 2006).

Аналіз погодно-кліматичних характеристик Байрачного степу України здійснено на основі архівних даних метеостанції м. Дніпро (синоптичний індекс – 34504, висота над рівнем моря 143 м, географічні координати: широта 48°60', довгота 34°97') за період 1974–2018 рр. (<http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34504.htm>). У Байрачному степу України за сорокап'ятирічний період основні кліматичні показники набули змін: з 1974 ро середньорічна температура

атмосферного повітря збільшилася на 1,5 °C (1974 р. – +8,0 °C, 2018 р. – +9,5 °C). Гідротермічний індекс Селянінова (ГТК) у досліджуваній лісогосподарській області відповідає широкому діапазону значень – 0,51–2,00, наявне чергування років, які можна охарактеризувати як дуже посушливі (ГТК≤0,5) та надмірно зволожені (ГТК>1,5).

Сукупність геоморфологічних, гідрологічних, едафічних та кліматичних умов Байрачного степу України сприятлива для культивування робінії несправжньоакації, задля виконання екологічних, економічних і соціальних функцій у регіоні дослідження. Лісові насадження, сформовані культурами робінії несправжньоакації у лісогосподарській області Байрачного степу України виконують утилітарні функції – захист ґрунтів проти ерозії, закріплення зсувонебезпечних ярів і балок, меліорацію техногенно трансформованих ландшафтів.

Вибір деревостанів *Robinia pseudoacacia* для дисертаційного дослідження зумовлено такими передумовами:

- значна площа у лісах лісогосподарської області Байрачного степу – 17,7 тис. га (27,6 % від площі ділянок, вкритих лісовою рослинністю);
- виконання робінієвими насадженнями екологічних функцій та їх значний ремедіаційний потенціал;
- переважання у захисних лісах;
- відсутність актуальних даних для таксації дерев та деревостанів, які функціонують у лісогосподарській області Байрачного степу;
- постійне зростання попиту та вартості дров'яної деревини у регіоні;
- відсутність інформаційно-довідкового забезпечення оцінювання біотичної продуктивності дерев та деревостанів за компонентами надземної фітомаси.

У третьому розділі «**Методологічні та методичні особливості досліджень біотичної продуктивності й екосистемних функцій робінієвих деревостанів**» висвітлено основні методологічні та методичні підходи дослідження біотичної продуктивності за компонентами надземної фітомаси й оцінювання екосистемних функцій робінієвих деревостанів. Методологія дисертаційного дослідження ґрунтується на комплексному, системному поєднанні таксаційних і біометричних засад, теоретичному узагальненні та базується на методах математичної статистики й моделювання.

Наукові дослідження біотичної продуктивності та екосистемних функцій робінієвих деревостанів Байрачного степу України за компонентами надземної фітомаси у дисертації поєднують використання різноманітних форм та методів наукового пізнання: загальнонаукові – аналіз, синтез, спостереження, експеримент, математичне моделювання та спеціалізовані методи лісової таксації, лісівництва, фізіології рослин і аналітичної хімії.

Аналіз наукових робіт, спрямованих на оцінювання біотичної продуктивності та екологічних функцій лісів природних зон України призвів до вибору методик збирання та оброблення експериментального дослідного матеріалу, які запропоновано П. І. Лакидою (2002) та використано у численних дослідженнях вченими-таксаторами його наукової школи.

Дослідження біотичної продуктивності деревостанів робінії несправжньо-акації проводилися у 2013–2019 рр. у лісових насадженнях, підпорядкованих Дніпропетровському обласному управлінню лісового та мисливського господарства Державного агентства лісових ресурсів України на території Байрачного степу у межах географічних координат 47–49 °N; 33–37 °E.

Таксаційна структура досліджуваних деревостанів оцінена за даними реляційної бази «Повидільна таксаційна характеристика лісу» виробничого об'єднання «Укрдержліспроект», яка містить кадастрову та таксаційну характеристики насаджень виділів лісового фонду. Загальна площа лісостанів за участю робінії несправжньо-акації на території Байрачного степу України у межах адміністративної Дніпропетровської області, які підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України, становить 17683,7 га і представлена на 4740 таксаційних виділах.

У лісах Байрачного степу, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України деревостани *Robinia pseudoacacia* мають таку представленість за функціональними категоріями: ліси природоохоронного, наукового та історико-культурного призначення – 1831,1 га (10,3 %); рекреаційно-оздоровчі ліси – 7173,5 га (40,6 %); захисні ліси – 8679,1 га (49,1 %). Робінієві деревостани переважно чисті за складом (82,5 %). За типологією Алексеева-Погребняка деревостани робінії несправжньо-акації функціонують у сімнадцяти едафотопях. Найпоширенішими типами лісорослинних умов є сугруди (9596,5 га або 54,3 %), груди представлені на площі 6732,2 га (38,1 %). У всіх типах лісорослинних умов переважають перестиглі деревостани, охоплюючи від 72,5 % площі у борах до 85,0 % у грудях. Встановлено залежність середнього запасу стовбурової деревини від умов зволоження ґрунту: одновікові деревостани у різних гігротопях формують різні запаси стовбурової деревини, в умовах значного зволоження запас досягає максимального значення ( $194 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ) із подальшим зниженням у свіжому гігротопі –  $186 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ; сухому –  $179,4 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ; дуже сухому –  $121,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ .

Робінієві деревостани зростають у 41 типі лісу: на третині площі (5668,8 га або 32,0 %) представлений галогенний варіант сухого сугруду, значно поширений галогенний варіант сухого груду – 2547,1 га (14,4 %). Вікова структура модальних деревостанів незбалансована, характеризується значним переважанням перестиглих деревостанів, на які припадає 72,3 % (12786,0 га) від загальної площі робінієвих деревостанів за дуже незначної площі молодняків, до 2,0 %. Деревостани, сформовані перестиглою робінією, відзначаються найбільшим запасом стовбурової деревини – 83,6 % від загального запасу стовбурової деревини цього виду у Байрачному степу України. Найбільшим середнім запасом деревини ( $194 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ) характеризуються перестиглі робінієві насадження віком 80–85 років (XVII клас віку), найменшим серед перестиглої групи віку – деревостани VIII класу (36–40 років) –  $141 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ . Основна частина площі знаходиться під деревостанами робінії, які зростають за I класом бонітету, середній клас бонітету досліджуваних деревостанів – II,5. Репрезентативні відносні повноти деревостанів 0,7–0,9, із переважанням відносної повноти 0,8.

За матеріалами реляційної бази «Повидільна таксаційна характеристика лісів», таксаційним описом і планом лісонасаджень підібрано ділянки у лісах лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства для закладання тимчасових пробних площ. За критерії вибору слугували шукані характеристики деревостанів – тип лісорослинних умов, тип лісу, склад деревостанів, вік головної породи, клас бонітету, відносна повнота. Було закладено 20 тимчасових пробних площ із суцільним обмірюванням, рубанням модельних дерев робінії несправжньоакації та пофракційним оцінюванням компонентів надземної фітомаси.

Для робінієвих деревостанів у Байрачному степу України притаманні наступні середні значення таксаційних показників: вік – 43 роки; діаметр стовбура на висоті 1,3 м – 16,9 см; висота – 14,8 м; сума площ поперечних перерізів –  $23,7 \text{ м}^2 \cdot \text{га}^{-1}$ ; відносна повнота – 0,74; запас стовбурової деревини –  $165,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ .

У четвертому розділі «**Моделювання якісних показників компонентів надземної фітомаси дерев робінії несправжньоакації**» досліджено локальну природну та базисну щільність компонентів фітомаси стовбура дерев, щільність компонентів крони та якісні показники асиміляційної складової дерев робінії несправжньоакації в умовах лісових насаджень Байрачного степу України.

Локальна щільність деревини у корі дерев лісотвірних видів є важливою характеристикою при здійсненні лісогосподарської діяльності, особливо при заготівлі сортиментів. Одержані дані про локальну базисну і природну щільність та їх варіабельність за відносними висотами і діапазонами віку дерев надають можливість оцінювати якість компонентів фітомаси окремих частин стовбурів та слугуватимуть за базис розрахунку усереднених показників щільності деревини і кори стовбурів дерев робінії несправжньоакації (табл. 1).

Таблиця 1

**Середні показники локальної природної та базисної щільності структурних компонентів стовбура дерев робінії несправжньоакації на відносних висотах стовбура,  $\text{кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$**

Структурний компонент фітомаси стовбура	Відносна висота стовбура				
	0h	0,1h	0,25h	0,5h	0,75h
Природна щільність					
Деревина стовбура	832±11,7	794±8,7	773±11,3	795±13,6	764±9,4
Кора стовбура	387±9,9	467±7,4	523±8,2	574±9,4	515±12,4
Деревина стовбура у корі	766±10,4	788±9,4	762±12,8	775±11,2	736±9,9
Базисна щільність					
Деревина стовбура	528±9,4	554±9,8	572±10,9	592±9,2	537±9,0
Кора стовбура	265±7,4	374±7,2	417±9,4	429±8,8	361±8,2
Деревина стовбура у корі	476±8,8	529±9,8	540±11,5	547±10,3	494±9,1

Локальна природна і базисна щільності деревини та кори дерев робінії несправжньоакації в умовах Байрачного степу України демонструють

комбінований тип змін вздовж стовбура дерева: від окоренкової частини стовбура до відносної висоти  $0,5h$  відбувається збільшення щільності з подальшим поступовим її зменшенням від середини стовбура до верхівки.

Найбільше значення середньої локальної базисної щільності деревини у корі –  $568 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$  зафіксовано у дерев, вік яких знаходиться у діапазоні 41–60 років на відносній висоті стовбура  $0,5h$ . Загальною закономірністю локальної базисної і природної щільності кори стовбурів для всіх груп віку дерев робінії визнано збільшення їхніх значень від окоренкової частини до відносної висоти  $0,5h$ : до середини стовбура характеризується висхідним типом, а на верхній половині стовбура – низхідним. Встановлене для досліджуваного виду збільшення щільності деревини у корі у нижній частині стовбура може бути пов'язано зі збільшенням кількості механічних волокон, потовщенням клітинних стінок і зміною співвідношення пізньої та ранньої деревини у межах річних шарів. Якісні сортименти робінії, з максимальною базисною щільністю деревини у корі, можливо отримати в інтервалі висот стовбура  $0,1h$ – $0,5h$ .

У процесі дослідження біотичної продуктивності деревостанів *Robinia pseudoacacia* одним із найбільш інформативних прикладних показників виявилася середня щільність компонентів надземної фітомаси дерев, яку у дисертаційному дослідженні проаналізовано залежно від віку, діаметра стовбура та висоти з метою встановлення закономірностей розподілу досліджуваних параметрів та забезпечення інформативності й адекватності математичних залежностей показників щільності структурних компонентів фітомаси стовбура з основними таксаційними параметрами модельних дерев.

Встановлено середні значення якісних параметрів компонентів фітомаси стовбурів: природна щільність деревини –  $848 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; природна щільність кори –  $508 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; природна щільність деревини у корі –  $780 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; базисна щільність деревини –  $499 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; базисна щільність кори –  $301 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; базисна щільність деревини у корі –  $455 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ . Середня природна щільність деревини стовбура та деревини стовбура у корі характеризується наростаючим типом із віком, діаметром стовбура та висотою дерев, тоді як природна щільність кори дерев робінії – зменшенням її значень із наведеними таксаційними показниками. Середня базисна щільність деревини стовбура робінії характеризується наростаючим типом із віком. Максимального значення ( $605 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ) середня базисна щільність деревини у корі досягає у дерева віком 78 років, висотою 15,7 м із діаметром стовбура 24,0 см.

Системний менеджмент поведінки з ресурсами лісових насаджень у лісогосподарських підприємствах природної зони степу мав би передбачати використання гілок дерев робінії несправжньоакації як джерела отримання продукту з доданою вартістю. Визначено діапазони значень базисної щільності компонентів крони: деревини гілок –  $390$ – $611 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; кори гілок –  $230$ – $429 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; щільність гілок крони у корі –  $408$ – $588 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ .

Фракції листя, як асиміляційному елементу інтегральної надземної фітомаси, у структурі деревної зелені дерев притаманний широкий діапазон значень: 32,1–78,4 %. Мінімальне значення шуканого показника зафіксовано у модельного дерева робінії з таксаційними показниками:  $a=16$  років;  $d=7,6$  см;

$h=8,3$  м, максимальне значення –  $a=73$  роки;  $d=18,0$  см;  $h=18,9$  м. Цю закономірність можна пояснити тим, що з віком у структурі фітомаси крони дерев досліджуваного виду збільшується частка грубих гілок з одночасним зменшенням чисельності дрібних, на яких формується листя. Частка абсолютно сухої речовини у листі знаходиться у діапазоні 0,355–0,523.

Для використання у лісовому господарстві Байрачного степу України з метою оцінювання якісних ознак фітомаси дерев робінії несправжньоакації запропоновано математичні моделі, в яких використано основні таксаційні показники, які легко визначаються на практиці – вік, діаметр стовбура, висота дерева: базисної щільності деревини стовбура у корі (1); базисної щільності деревини гілок у корі (2); частки листя у структурі фітомаси деревної зелені (3); вмісту сухої речовини у листі (4):

$$P_{\text{л} \text{о} \text{к}}^{\text{cm}} = 582,42 \cdot \exp(0,00004a) \cdot \exp(0,022d) \cdot h^{-0,237}, R^2=0,42; \quad (1)$$

$$P_{\text{л} \text{о} \text{к}}^{\text{ei}} = 507,24 \cdot a^{0,094} \cdot d^{-0,239} \cdot h^{0,113}, R^2=0,52; \quad (2)$$

$$p_{\text{л}} = 66,136 \cdot a^{0,059} \cdot d^{-0,102} \cdot h^{-0,022}, R^2=0,31; \quad (3)$$

$$s_{\text{л}} = 0,388 \cdot a^{0,023} \cdot d^{0,086} \cdot h^{0,093}, R^2=0,35. \quad (4)$$

П'ятий розділ «**Біопродуктивність дерев і деревостанів робінії несправжньоакації та їхні екосистемні функції**» присвячено оцінюванню надземної фітомаси дерев й деревостанів досліджуваного виду методами математичного моделювання.

Визначення екологічного та енергетичного потенціалу лісів має базуватися на розрахунку обсягів надземної фітомаси дерев і деревостанів лісотвірних видів. Для компонентів фітомаси стовбура дерев робінії несправжньоакації розроблено дво- і трифакторні алометричні моделі (табл. 2).

Таблиця 2

**Математичні моделі оцінювання об'єму структурних компонентів стовбурів дерев робінії несправжньоакації**

Номер моделі	Вид рівняння	$R^2$	F-тест
Об'єм деревини стовбурів дерев			
5	$v_{\text{о} \text{к}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \cdot d^{1,583} \cdot h^{1,199}$	0,98	13,23
6	$v_{\text{о} \text{к}} = 8,0 \cdot 10^{-5} \cdot d^{1,632} \cdot h^{1,171} \cdot a^{-0,114}$	0,98	14,54
Об'єм кори стовбура дерев			
7	$v_{\text{к}} = 6,0 \cdot 10^{-6} \cdot d^{2,547} \cdot h^{0,592}$	0,94	15,34
8	$v_{\text{к}} = 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot d^{2,534} \cdot h^{0,593} \cdot a^{-0,105}$	0,94	12,45
Об'єм стовбурів у корі дерев			
9	$v = 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot d^{1,879} \cdot h^{1,045}$	0,99	11,36
10	$v = 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot d^{1,891} \cdot h^{1,040} \cdot a^{-0,038}$	0,99	13,24

Екологічний потенціал дерев значною мірою зумовлений фітомасою крони. Розроблено регресійні моделі оцінювання фітомаси структурних компонентів крони дерев робінії несправжньоакації, в яких висота дерева та діаметр стовбура на висоті 1,3 м виступають як фактори впливу (табл. 3):

$$qi = k_0 \cdot d^{k_1} \cdot h^{k_2}, \quad (11)$$

де  $qi$  – структурний компонент фітомаси крони;  $k_0, k_1, k_2$  – коефіцієнти регресії.

Прикладного значення набувають рівняння, в яких використано фактори впливу – діаметр стовбура на висоті 1,3 м та висота дерев, які доступні для вимірювання у натурних умовах та використовують для розрахунку інформаційно-довідкових даних оцінювання компонентів надземної фітомаси дерев. Отримані рівняння застосовано для розрахунку інформаційно-довідкового забезпечення оцінювання компонентів надземної фітомаси дерев робінії несправжньоакації у свіжозрубаному та абсолютно сухому станах.

Таблиця 3

**Характеристики моделей оцінювання структурних компонентів  
фітомаси крони дерев робінії несправжньоакації**

Номер моделі	Компонент надземної фітомаси	Коефіцієнт рівнянь			Критерій рівнянь	
		$k_0$	$k_1$	$k_2$	$R^2$	$F$ -тест
Свіжозрубаний стан						
12	Гілки грубі у корі	0,152	0,948	0,924	0,70	29,16
13	Деревна зелень	0,308	0,753	0,603	0,70	29,35
Абсолютно сухий стан						
14	Гілки дрібні у корі	0,051	0,723	0,805	0,60	16,16
15	Деревина грубих гілок	0,088	0,899	0,907	0,68	25,67
16	Кора грубих гілок	0,035	0,859	0,837	0,68	23,68
17	Гілки грубі крони у корі	0,123	0,890	0,890	0,69	26,49
18	Гілки крони	0,166	0,868	0,871	0,71	29,04
19	Листя	0,059	0,637	0,816	0,59	24,46

Використано визначені середні значення якісних параметрів стовбурів і крон дерев робінії несправжньоакації у Байрачному степу України: середня природна щільність деревини –  $848 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; середня природна щільність кори –  $508 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; середня природна щільність деревини у корі –  $780 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; середня базисна щільність деревини –  $499 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; середня базисна щільність кори –  $301 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; середня базисна щільність деревини у корі –  $456 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ ; вміст абсолютно сухої речовини у листі – 0,423.

У діапазоні значень діаметра стовбура 14–18 см, які переважають у дерев віку стиглості досліджуваного виду у Байрачному степу України, надземна фітомаса дерев у абсолютно сухому стані становить 45,6–146,9 кг. Зі збільшенням діаметра стовбура та висоти дерева відбувається інтенсифікація накопичення інтегрованої надземної фітомаси та значний перерозподіл її структурних компонентів: значно зростає частка фітомаси стовбура, як деревини, так і кори.

У дисертаційному дослідженні здійснено пошук залежностей компонентів надземної фітомаси деревостанів робінії несправжньоакації у двох напрямках, перший з яких – моделювання залежностей, які характеризують кількісні параметри компонентів фітомаси (20) та моделювання конверсійних коефіцієнтів, які встановлюють відношення надземної фітомаси структурних компонентів до стовбурового запасу деревостану у корі (21).

$$Phi = k_0 \cdot D^{k_1} \cdot H^{k_2} \cdot P^{k_3}, \quad (20)$$

де  $Phi$  – надземна фітомаса  $i$ -ої фракції робінієвого деревостану;  $k_0, k_1, k_2, k_3$  – коефіцієнти регресії.

$$Rvi = k_0 \cdot D^{k_1} \cdot H^{k_2} \cdot P^{k_3}, \quad (21)$$

де  $Rvi$  – конверсійний коефіцієнт  $i$ -ої фракції надземної фітомаси деревостану;  $k_0, k_1, k_2, k_3$  – коефіцієнти регресії.

Значення коефіцієнтів регресії та статистичні характеристики множинних регресійних алометричних рівнянь (20, 21) оцінювання фітомаси компонентів стовбурів і крони робінієвих деревостанів у Байрачному степу України наведено у табл. 4.

Таблиця 4

**Характеристики математичних моделей оцінювання надземної фітомаси структурних компонентів робінієвих деревостанів**

Номер моделі	Компонент фітомаси	Коефіцієнти регресії				$R^2$	$F$ -тест
		$k_0$	$k_1$	$k_2$	$k_3$		
Фітомаса структурних компонентів							
22	Деревина стовбура	5,127	0,185	0,789	0,450	0,89	11,41
23	Кора стовбура	0,598	0,160	1,025	0,473	0,93	16,39
24	Стовбур у корі	5,672	0,180	0,826	0,453	0,91	20,82
25	Гілки у корі	0,441	-1,232	2,621	0,285	0,67	8,68
26	Листя	1,964	-1,798	2,052	0,095	0,49	6,95
27	Деревна зелень	5,484	-0,851	1,229	0,248	0,49	7,79
Конверсійні коефіцієнти							
28	Деревина стовбурів	0,231	0,642	-0,492	0,115	0,62	11,24
29	Кора стовбурів	0,023	0,622	-0,222	0,023	0,72	8,65
30	Стовбур у корі	0,251	0,645	-0,459	0,104	0,68	9,38
31	Гілки крони у корі	0,596	-1,132	0,472	-0,441	0,91	7,44
32	Листя	1,008	-7,510	6,042	-0,247	0,99	8,13
33	Деревна зелень	4,447	-6,399	4,921	-0,158	0,99	13,54

Використання математичних моделей (22–27) зумовило розрахунок інформаційно-довідкових даних оцінювання фітомаси, які рекомендовано до використання для робінієвих деревостанів Байрачного степу України зі середньою висотою у межах від 4 до 30 м та середнім діаметром – від 4 до 32 см, у діапазоні модальних повнот 0,6–0,9. У лісах досліджуваного регіону надземна фітомаса робінієвих деревостанів становить  $41,0 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  ( $D=6 \text{ см}$ ,  $H=6 \text{ м}$ ) –  $124 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  ( $D=24 \text{ см}$ ,  $H=18 \text{ м}$ ).

Для робінієвих деревостанів встановлено такі закономірності: зі збільшенням значень середнього діаметра та середньої висоти відбувається перерозподіл структурних компонентів надземної фітомаси, особливо у фітомасі крон. Співвідношення фітомаси стовбура у корі до фітомаси крони має незначну варіабельність із розвитком деревостанів, тобто зі збільшенням морфологічних показників, і відповідає діапазону значень (%): 73/27 ( $D=8 \text{ см}$ ,  $H=10 \text{ м}$ ,  $P=0,9$ ) – 79/21 ( $D=4 \text{ см}$ ,  $H=4 \text{ м}$ ,  $P=0,9$ ).

Перерозподіл у структурі фітомаси відбувається за рахунок збільшення маси фракції гілок у корі, якій притаманний позитивний тренд з досяганням максимуму у перестиглих деревостанах – 20,5 % від загальної надземної фітомаси деревостану. Одночасно з цим, за умови збереження відношення фітомаси стовбурів у корі до фітомаси крони, фіксується значне зниження

фітомаси асиміляційної складової, із низхідним трендом: 10,1 % ( $D=4$  см,  $H=4$  м); 7,3 % ( $D=8$  см,  $H=10$  м); 3,9 % ( $D=14$  см,  $H=14$  м) та у перестиглих деревостанах ( $D=24$  см,  $H=24$  м) досягає мінімуму, становлячи до 2,5 % від загальної фітомаси надземної частини деревостану. У фітомасі стовбурів у корі також спостерігається перерозподіл між структурними компонентами із тенденцією збільшення частки кори, з досяганням максимуму у деревостанах зі значеннями  $D=24$  см,  $H=24$  м до 14,3 % від загальної надземної фітомаси.

Конверсійний коефіцієнт надземної фітомаси досліджуваних робінієвих деревостанів знаходиться у діапазоні значень  $-0,517-0,647$ . Зі збільшенням середньої висоти за сталого середнього діаметра відбувається зростання значень конверсійного коефіцієнта, тоді як за сталої середньої висоти деревостану і збільшення значень середнього діаметра спостерігається зворотна тенденція.

На основі даних реляційної бази «Повидільна таксаційна характеристика лісів», які характеризують робінієві деревостани лісів, підпорядкованих підприємствам Державного агентства лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської області та розроблених алометричних моделей оцінювання фітомаси структурних фракцій (22, 23, 25–27) здійснено розрахунок обсягів фітомаси надземної частини досліджуваних деревостанів (табл. 5).

Таблиця 5

**Фітомаса надземної частини деревостанів робінії несправжньооакації  
Байрачного степу України**

Група віку/ клас віку	Площа, га	Фітомаса надземної частини деревостану					
		стовбур		крона		загалом	деревна зелень
		деревина	кора	гілки	листя		
Молодняки/ I–II клас віку	370,2	<u>7,6</u> 20,6	<u>1,3</u> 3,4	<u>1,5</u> 4,1	<u>1,1</u> 3,0	<u>11,5</u> 31,1	<u>0,8</u> 2,0
Середньовікові/ III–V клас віку	1414,6	<u>40,9</u> 28,91	<u>7,2</u> 5,09	<u>7,7</u> 5,34	<u>4,0</u> 2,83	<u>59,8</u> 42,25	<u>3,9</u> 2,8
Пристиглі/ VI клас віку	486,3	<u>22,7</u> 46,7	<u>4,4</u> 9,0	<u>4,7</u> 9,7	<u>1,4</u> 2,9	<u>33,2</u> 68,3	<u>1,7</u> 3,5
Стигли/ VII–VIII клас віку	2626,6	<u>178,9</u> 68,1	<u>37,3</u> 14,2	<u>43,9</u> 16,7	<u>8,1</u> 3,1	<u>268,2</u> 102,1	<u>11,1</u> 4,2
Перестиглі/ IX клас віку	12780,0	<u>1050,2</u> 82,2	<u>227,3</u> 17,8	<u>282,6</u> 22,1	<u>43,2</u> 3,4	<u>1603,3</u> 125,8	<u>45,2</u> 3,5
Всього	17683,7	<u>1300,3</u> 73,5	<u>277,5</u> 15,7	<u>340,4</u> 19,2	<u>57,8</u> 3,3	<u>1976,0</u> 111,7	<u>62,6</u> 3,5

Примітка. Чисельник – загальна фітомаса фракції, тис. т; знаменник – фітомаса фракції на 1 га, т·га<sup>-1</sup>

Понад половину, до 65,8 %, надземної фітомаси представлено деревиною стовбурів. Фітомаса гілок крон у корі незначно більша за фітомасу кори стовбурів, що підтверджує результати аналізу розподілу фітомаси структурних компонентів у відносних одиницях, який демонструє майже однакову представленість зазначених фракцій у загальній фітомасі для деревостанів I–II класів віку, 10,8 і 10,6 % відповідно, і збільшенням цієї розбіжності з ростом деревостанів, і досяганням ними віку стиглості, коли фітомаса гілок у корі

займає до 20,5 % загальної надземної фітомаси, тоді як кора стовбурів – 14,1 % (рис. 2).

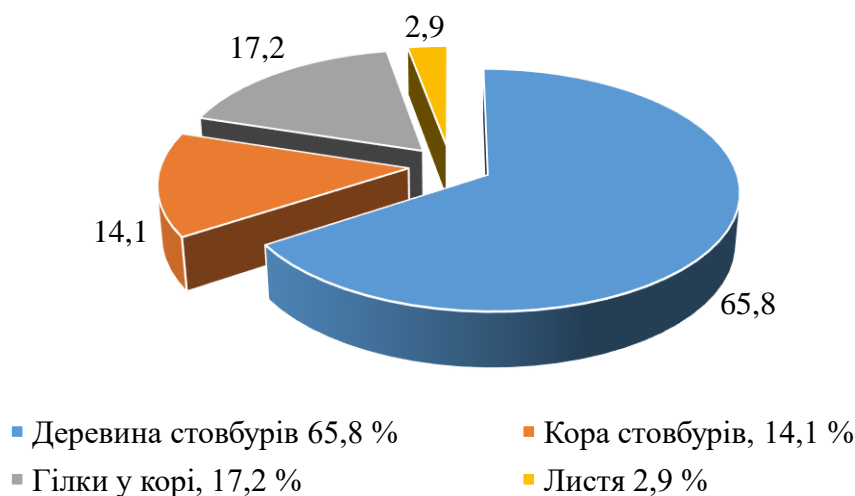


Рис. 2. Фракційний розподіл фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів Байрачного степу України, %

Особливістю структури фітомаси робінієвих деревостанів слід вказати співвідношення маси деревної зелені, яка оцінена у свіжозрубаному стані та гілок крони у корі (абсолютно сухий стан) до маси стовбура у корі, які відповідно становлять 29,3 та 21,5 %.

Оцінювання річної продукції надземної частини робінієвих деревостанів Байрачного степу України передбачало розроблення математичних множинних нелінійних рівнянь оцінювання поточного приросту деревини за запасом ( $Z_{\delta}^{cm}M$ ,  $m^3 \cdot (га \cdot рік)^{-1}$ ) та його частки ( $BZ_{\delta}^{cm}M$ , %) (табл. 6).

Таблиця 6

**Моделі оцінювання поточного приросту за запасом стовбурової деревини і його частки у деревостанах робінії несправжньоакації**

Номер моделі	Вид рівняння	$R^2$	F-тест
Поточний приріст стовбурової деревини за запасом			
34	$Z_{\delta}^{cm}M = 19,004 \cdot D^{0,119} \cdot H^{-0,442} \cdot P^{1,288}$	0,81	10,79
35	$Z_{\delta}^{cm}M = 14,050 \cdot A^{-0,554} \cdot D^{-0,143} \cdot H^{0,757} \cdot P^{0,274}$	0,80	7,83
Частка поточного приросту стовбурової деревини за запасом			
36	$BZ_{\delta}^{cm}M = 48,009 \cdot A^{-1,800} \cdot D^{-1,433}$	0,97	6,37
37	$BZ_{\delta}^{cm}M = 12,308 \cdot D^{-0,591} \cdot H^{2,118} \cdot P^{0,050}$	0,98	7,14

Розрахунок продукції стовбурової деревини робінієвих деревостанів здійснено через поточний приріст за запасом з урахуванням середньої базисної щільності деревини стовбурів за рівнянням:

$$Pr_{\delta}^{cm} = Z_{\delta}^{cm}M \cdot P_{l\delta}^{cm}, \quad (38)$$

де  $Pr_{\delta}^{cm}$  – продукція стовбурової деревини, т·(га·рік<sup>-1</sup>);  $Z_{\delta}^{cm}M$  – поточний приріст стовбурової деревини за запасом, м<sup>3</sup>·(га·рік<sup>-1</sup>);  $P_{l\delta}^{cm}$  – середня базисна щільність деревини стовбурів, кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

Продукція стовбурової деревини досліджуваного виду змінюється у двох взаємо протилежних напрямках – у межах певної градації середнього діаметра спадає зі збільшенням середньої висоти, і зростає зі збільшенням середнього діаметра за умови сталого значення середньої висоти деревостану. Загалом за рік у робінієвих деревостанах з відносною повнотою 0,9 може продукуватися від 3,0 до 5,0 т·(га·рік)<sup>-1</sup> деревини стовбурів. У лісах Байрачного степу України найбільша площа охоплена деревостанами робінії несправжньоакації перестиглої групи віку, для яких у діапазоні значень середнього діаметра 14–30 см продукція стовбурової деревини знаходиться у межах 3,1–4,1 т·(га·рік)<sup>-1</sup>.

Дані продукції деревини стовбурів робінієвих деревостанів у абсолютних одиницях (т·(га·рік)<sup>-1</sup>) і тренд їх змінювання (4,7 при  $D=6$  см,  $H=6$  м; → 3,4 при  $D=16$  см,  $H=16$  м; → 3,0 при  $D=24$  см,  $H=24$  м) зіставні з аналогічними даними деревостанів дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у Лісостепу (5,0 при  $D=20$  см,  $H=20$  м; → 3,5 при  $D=26$  см,  $H=24$  м) і майже удвічі менші за продукцію бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) в Українських Карпатах 8,89 за таксаційних значень деревостану  $D=8,7$  см,  $H=14,0$  м) і 3,32 ( $D=33,9$  см,  $H=20,9$  м).

При здійсненні оцінювання загальної продукції робінієвих деревостанів регіону дослідження одним з ключових питань було дослідження продукції кори стовбурів. Визначення обсягів фітомаси кори та її річної продукції у штучних робінієвих деревостанах – актуальне ресурсознавче питання, оскільки кора дерев досліджуваного виду є цінним джерелом біологічно активних сполук поліфенольної природи і слугує визнаною сировиною для фармацевтичної промисловості.

Результат багатоваріантного математичного моделювання запасу кори ( $M_k^{cm}$ , м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>) робінієвих деревостанів – розроблене статистично достовірне ( $R^2=0,91$ ,  $F$ -тест=94,9) алометричне рівняння з трьома аргументами впливу:

$$M_k^{cm}=3,784 \cdot D^{0,218} \cdot H^{0,760} \cdot P^{0,967}. \quad (39)$$

Розрахунок продукції стовбурової кори робінієвих деревостанів виконано через її запас з урахуванням відсотка поточного приросту за математичною моделлю (39) та середньої базисної щільності кори стовбурів дерев робінії несправжньоакації за рівнянням:

$$Pr_k^{cm}=M_k^{cm} \cdot BZ_{\delta}^{cm} M \cdot P_{lk}^{cm}, \quad (40)$$

де  $Pr_k^{cm}$  – продукція кори стовбурів, т·(га·рік)<sup>-1</sup>;  $M_k^{cm}$  – запас кори стовбурів деревостану, м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>;  $BZ_{\delta}^{cm} M$  – частка поточного приросту стовбурової деревини за запасом, %;  $P_{lk}^{cm}$  – базисна щільність кори стовбурів робінії несправжньоакації, кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

Екстраполяція частки поточного приросту стовбурової деревини за запасом на розрахунок продукції кори базується на тезі, що інтенсивність меристематичної діяльності камбію, який забезпечує утворення двох комплексних тканин – деревини та лубу рівнозначна протягом вегетаційного періоду щодо формування зазначених компонентів фітомаси стовбура.

Продукція стовбурової кори досліджуваних деревостанів у діапазоні значень середніх діаметрів 4–30 см, середньої висоти – 4–28 м та відносних

повнот 0,6–0,9 змінюється у межах від 0,15 до 1,48 т·(га·рік)<sup>-1</sup>. Інтенсифікація продукування стовбурової кори зі збільшенням таксаційних показників деревостану (середніх діаметра та висоти), яка була встановлена для деревостанів робінії несправжньооакації у лісогосподарській області Байрачного степу України, також наводиться для штучних деревостанів липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) Башкирського Передуралля (Габделхаков А. К., Арсланов А. А, 2009).

Продукцію структурних компонентів крони досліджуваних робінієвих деревостанів оцінено за розробленими нелінійними статистично достовірними моделями (41, 43), характеристику яких наведено у табл. 7.

Таблиця 7

### Моделі оцінювання продукції компонентів крони робінієвих деревостанів

Номер моделі	Вид рівняння	R <sup>2</sup>	F-тест
Продукція гілок крони у корі			
41	$Pr_{гил} = (-0,0021 \cdot A^2 + 0,4704A - 0,7539) - (-0,0021 \cdot (A-1)^2 + 0,4704A - 0,7539)$	0,68	5,13
Продукція листя			
42	$Pr_{л} = 0,7691 + 0,0595A - 0,0003A^2$	0,64	6,11
43	$Pr_{л} = 3,735 \cdot D^{-0,047} \cdot H^{2,121} \cdot P^{0,113}$	0,63	5,83

Розрахунок продукції гілок крони у корі здійснено за рівнянням поліному другого порядку, яке описує різницю фітомаси зазначеної фракції у віці деревостану  $A$  та  $(A-1)$ . Верифікація математичних рівнянь розрахунку продукції асиміляційної складової деревостану дозволила визначити найбільш адекватну і коректну модель розрахунку (43) із включенням середнього діаметра, середньої висоти та відносної повноти деревостану. Річну продукцію листя оцінено з урахуванням коефіцієнта щорічної втрати його фітомаси (0,02), який у розрахунках чистої первинної продукції використовували А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильсон, 2007; В. І. Блищик, 2015.

Продукція листя у робінієвих деревостанах знаходиться у діапазоні значень 1,0–3,6 т·(га·рік)<sup>-1</sup>, у середньому на гектарі за рік формується до 2,7 т вегетативних органів асиміляції. Встановлена у дослідженні тенденція зменшення річної продукції листяної фракції фітомаси при збільшенні середнього діаметра і середньої висоти у деревостані характерна для інших твердолистяних видів – дуба звичайного (*Quercus robur* L.), дуба каштанолистого (*Quercus castaneifolia* С. А. Май), дуба скельного (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) (Сафаров І. С., Джалилов К. Г., 1973).

Використовуючи вихідні дані – таксаційні характеристики робінієвих деревостанів і систему математичних моделей оцінювання річної продукції деревини та кори стовбурів, гілок крони у корі та листя розроблено алгоритм розрахунку загальної продукції надземної частини робінієвих деревостанів лісів Байрачного степу України (рис. 3). На основі даних реляційної бази «Повидільна таксаційна характеристика лісів» здійснено розрахунок загальної річної продукції робінієвих деревостанів лісів Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства (табл. 8).

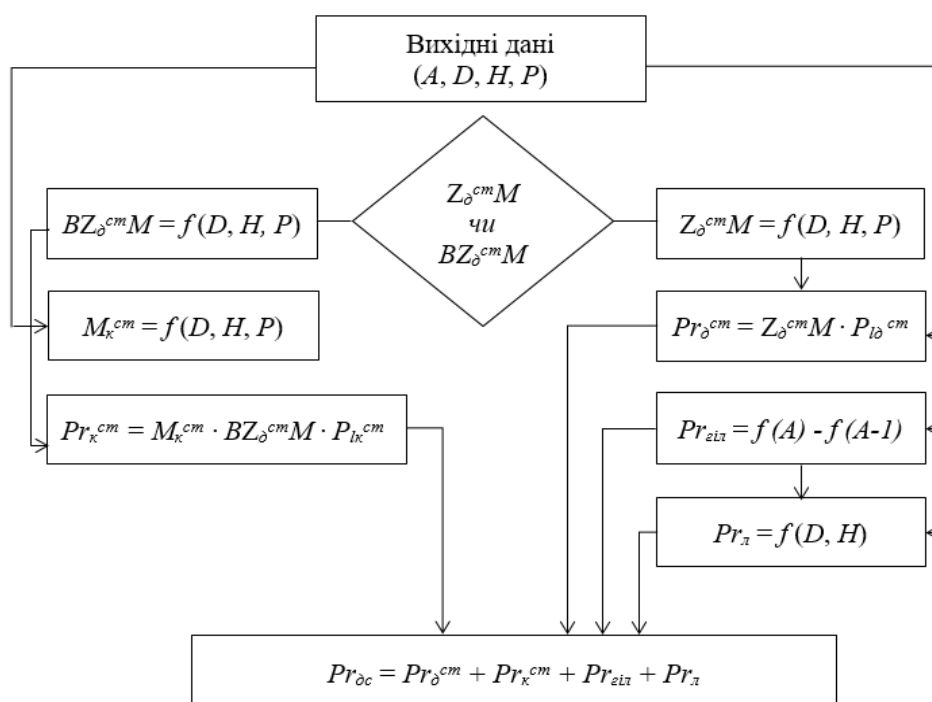


Рис. 3. Блок-схема розрахунку продукції надземної частини робінієвих деревостанів Байрачного степу України

Таблиця 8

**Продукція надземної частини деревостанів робінії несправжньоакації у Байрачному степу України**

Група віку/ клас віку	Площа, га	Продукція надземної частини деревостану				загалом
		стовбур		крона		
		деревина	кора	гілки	листя	
Молодняки/ I–II класи віку	370,2	<u>1398,6</u>	<u>87,3</u>	<u>161,9</u>	<u>451,9</u>	<u>2099,7</u>
		3,77	0,23	0,44	1,22	5,67
Середньовікові/ III–V класи віку	1414,6	<u>4907,4</u>	<u>471,4</u>	<u>562,5</u>	<u>2395,9</u>	<u>8337,2</u>
		3,47	0,33	0,40	1,69	5,89
Пристиглі/ VI клас віку	486,3	<u>1494,7</u>	<u>265,4</u>	<u>173,2</u>	<u>1042,0</u>	<u>2975,3</u>
		3,07	0,54	0,36	2,14	6,11
Стиглі/ VII–VIII клас віку	2626,6	<u>7265,6</u>	<u>2100,6</u>	<u>835,3</u>	<u>6561,7</u>	<u>16763,2</u>
		2,77	0,79	0,32	2,50	6,38
Перестиглі/ IX клас віку	12780,0	<u>34370,2</u>	<u>12414,5</u>	<u>3423,1</u>	<u>36890,0</u>	<u>87097,8</u>
		2,69	0,97	0,27	2,89	6,81
Всього	17683,7	<u>49436,6</u>	<u>15339,1</u>	<u>5156,0</u>	<u>47341,5</u>	<u>117273,2</u>
		2,80	0,86	0,29	2,68	5,96

Примітка. Чисельник – загальна продукція відповідної фракції надземної частини деревостанів, т·рік<sup>-1</sup>; знаменник – середнє значення продукції відповідної фракції надземної частини деревостанів, т·(рік·га)<sup>-1</sup>

Більша частка (39,5–66,6 %) річної продукції досліджуваних деревостанів представлена продукцією деревини стовбурів. На загальну стовбурову продукцію (деревина і кора) припадає 43,5–70,8 % від загальної продукції надземної частини деревостанів. Найменше продукується гілок крони у корі,

за частки до 7,7 %. Фітомаса листя, яке наростає за вегетаційний сезон, незначно менша за продукцію стовбурової деревини і становить 20,5–40,3 % (рис. 4).

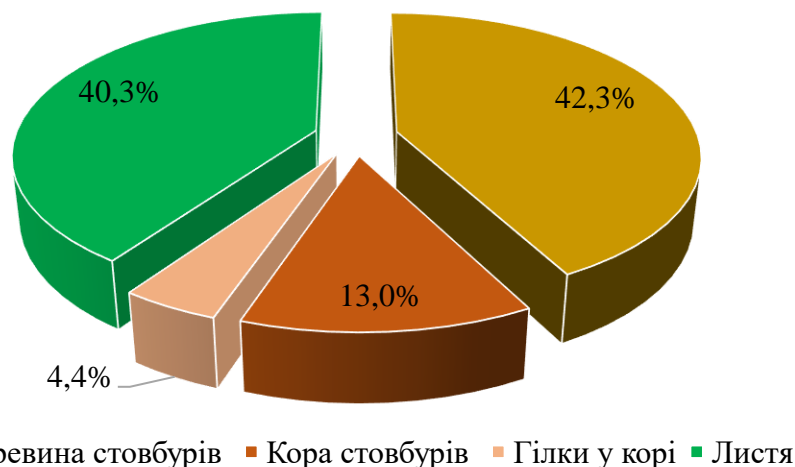


Рис. 4. Розподіл річної продукції деревостанів робінії несправжньоакації за структурними компонентами надземної частини деревостанів

Територіальний розподіл загальної річної продукції робінієвих деревостанів у лісових насадженнях лісогосподарських підприємств Байрачного степу України наведено на рис. 5.

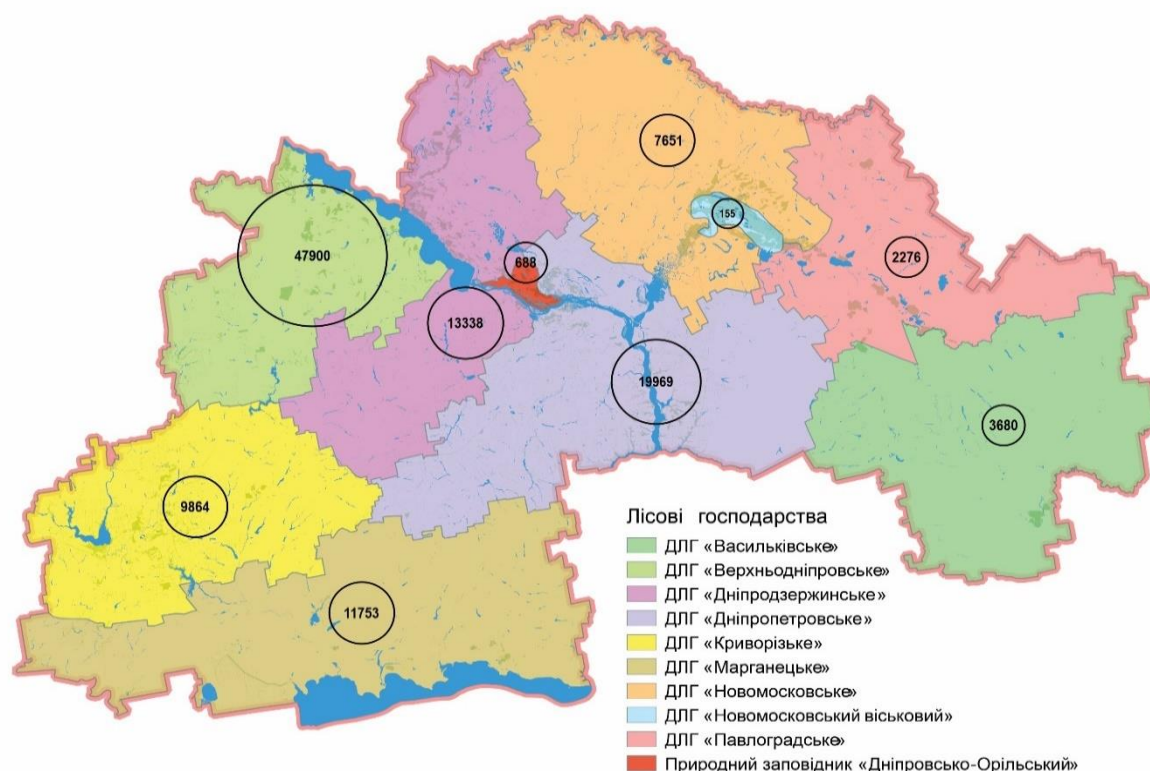


Рис. 5. Загальна продукція надземної частини робінієвих деревостанів державних лісогосподарських підприємств Дніпропетровської області, т·рік<sup>-1</sup>

Загальна річна продукція надземної фітомаси робінієвих деревостанів обрахована за даними з 4740 таксаційних виділів на площі 17683,7 га дев'яти

лісогосподарських підприємств і природного заповідника «Дніпровсько-Орільський», підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України.

Загальна продукція надземної частини робінієвих деревостанів у регіоні дослідження оцінена у  $117273 \text{ т} \cdot \text{рік}^{-1}$ : найбільші значення досліджуваного показника зафіксовано у лісостанах Верхньодніпровського та Дніпропетровського держлісгоспів –  $47900$  та  $19969 \text{ т} \cdot \text{рік}^{-1}$  відповідно.

У дисертації оцінено динаміку фітомаси насаджень робінії несправжньоакації. За даними матеріалів базового лісовпорядкування лісів Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства та використанням програми CARBON (Лакида П. І., 2002) визначено динаміку фітомаси, депонований вуглець та їх щільність у насадженнях робінії несправжньоакації у період 1973–2011 рр. (табл. 9). На рис. 6. наведено відсотковий розподіл фітомаси за структурними компонентами насаджень на початок та кінець обліку.

Таблиця 9

**Фітомаса та депонований вуглець робінієвих насаджень лісів,  
підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів  
у Дніпропетровській області**

Площа, тис. га	Запас стовбурової деревини, млн м <sup>3</sup>	Компоненти фітомаси, млн т					Щільність фітомаси, кг·(м <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	Вуглець, млн т	
		листя	деревина і кора гілок	деревина і кора стовбурів	корені	піднаметова рослинність			разом
1973 рік									
10,8	0,27	0,0323	0,1175	0,4487	0,0731	0,0249	0,6965	6,4	0,346
1978 рік									
15,8	0,87	0,036	0,1774	0,7052	0,0974	0,0316	1,0476	6,6	0,522
1983 рік									
15,1	0,71	0,0411	0,195	0,8059	0,1104	0,0322	1,1846	7,9	0,590
1996 рік									
16,1	1,76	0,0319	0,2392	0,9812	0,1338	0,0384	1,4245	8,9	0,710
2002 рік									
16,6	2,18	0,0376	0,3191	1,2300	0,1654	0,0409	1,7930	10,8	0,894
2011 рік									
17,6	2,73	0,0379	0,381	1,3506	0,1497	0,0424	1,9616	11,2	0,978

У зазначений період відбулося збільшення площі робінієвих насаджень від 10,8 до 17,6 тис. га. Станом на 01.01.2011 р. фітомаса досліджуваних насаджень сягала майже 2,0 млн т, у якій акумульовано до 1,0 млн т вуглецю. Усі робінієві насадження штучного походження, лісові культури цього виду було створено переважно задля виконання протиерозійної функції та як рекультиваційні насадження на девастованих землях. У ревізійний період закономірно інтенсивно відбувалося й збільшення загального запасу стовбурової деревини від 0,27 до 2,73 млн м<sup>3</sup>. Середні запаси за роками змінювалися таким

чином: ( $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ) 1973 – 25,1; 1978 – 55,2; 1983 – 47,0; 1996 – 66,7; 2002 – 131,3; 2011 – 154,6.

Дані діаграми (рис. 6) демонструють збереження тенденції розподілу загальної фітомаси насаджень за фракціями протягом усього періоду спостереження: найбільшу частку у загальній фітомасі робінієвих насаджень становила фітомаса деревини та кори стовбурів деревостанів, найменшою часткою у загальній фітомасі характеризувалася піднаметова рослинність. З ростом і формуванням робінієвих насаджень протягом трьох десятиріч відбувався незначний перерозподіл часток фітомаси між структурними складовими. Частка фітомаси надземної частини деревостанів, а саме фітомаси деревини і кори стовбурів збільшилася на 4,5 %, деревини і кори гілок – 3,5 %. Збільшення часток згаданих фракцій фітомаси відбувалося на тлі зменшення маси асимілюючих органів. У молодняках частка фітомаси листя сягала 5,0 %, тоді як у стиглих і перестиглих деревостанах на фотосинтезуючі вегетативні органи може припадати до 2,0 % від загальної фітомаси насаджень.

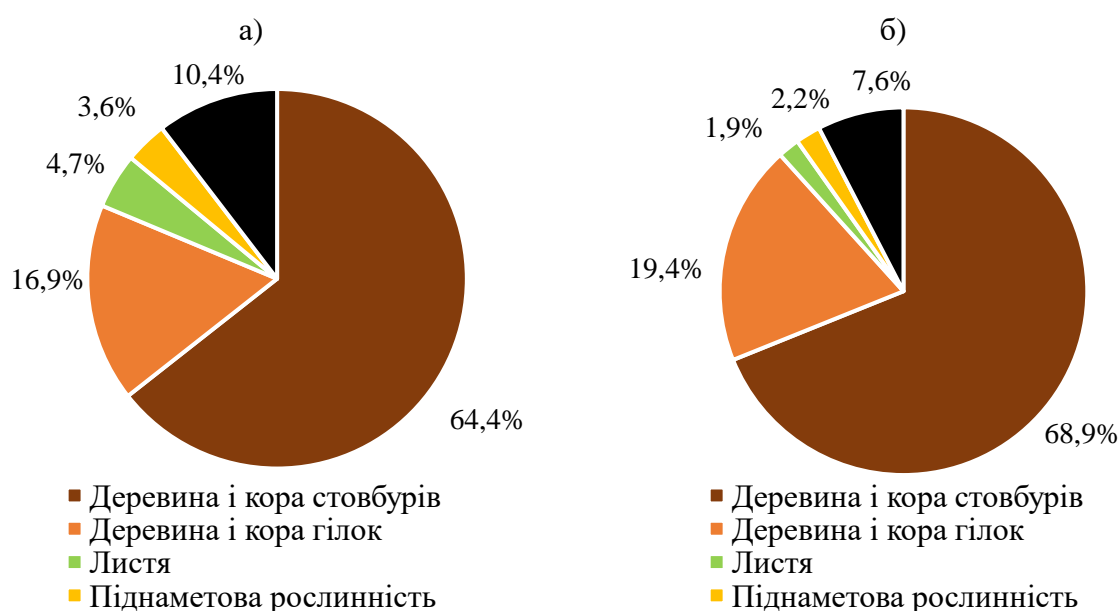


Рис. 6. Розподіл загальної фітомаси робінієвих насаджень лісів Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства за структурними компонентами, %: 1973 (а) та 2011 рр. (б)

Вуглець, акумульований у фітомасі досліджуваних насаджень становив 0,3466 (1973 р.) – 0,9789 млн т (2011 р.). Збільшення щільності вуглецю у фітомасі робінієвих насаджень протягом одного року знаходиться у діапазоні  $0,02\text{--}0,11 \text{ кгС} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$ . Середня щільністю вуглецю фітомаси робінієвих деревостанів лісогосподарської зони Байрачного степу –  $4,3 \text{ кгС} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$ .

За середньорічного обсягу викидів діоксиду вуглецю у атмосферне повітря регіону дослідження у 27,7 млн т (рис. 7) маса атомарного вуглецю становить 7,6 млн т, частка депонування вуглецю за його середньорічного значення дуже незначна, із показником 0,74 %.

За умови максимальної емісії діоксиду вуглецю у 37,7 млн т (10,3 млн т атомарного вуглецю), яка спостерігалася у 2012 році, відсоток його депонування

зменшується до 0,54 %. Загальне річне депонування вуглецю фітомасою надземної частини робінієвих деревостанів у лісах Державного агентства лісових ресурсів України оцінюється близько 56,0 тис. т·рік<sup>-1</sup>. Територіальний розподіл депонованого вуглецю досліджуваними робінієвими деревостанами у державних лісах адміністративних районів Дніпропетровської області наведено на рис. 8.

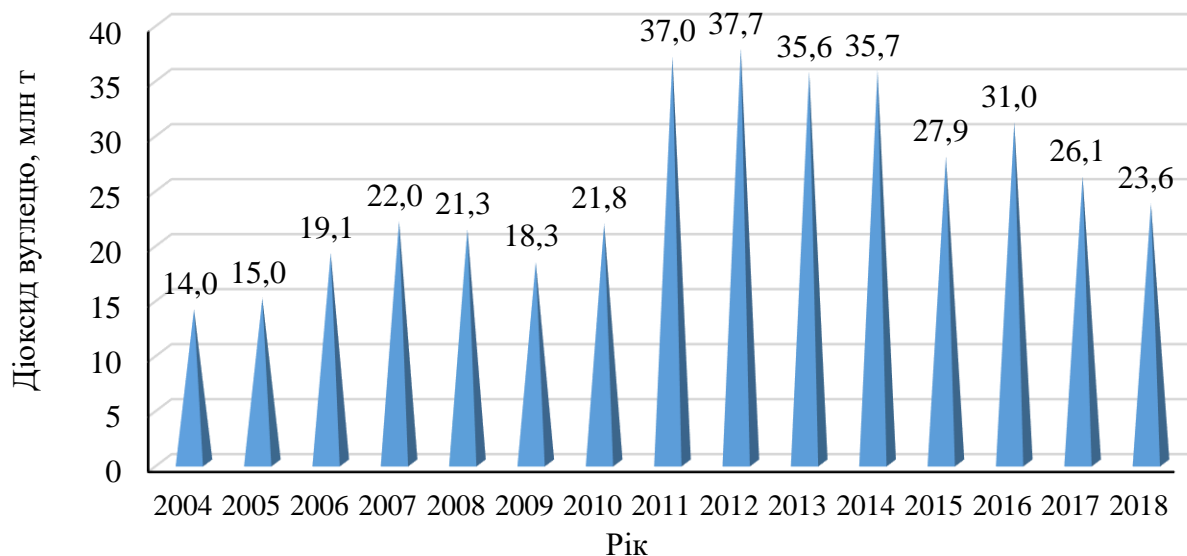


Рис. 7. Викиди діоксиду вуглецю у атмосферне повітря Дніпропетровської області (джерело даних – <http://www.dnprstat.gov.ua/statinfo%202015/ns>)

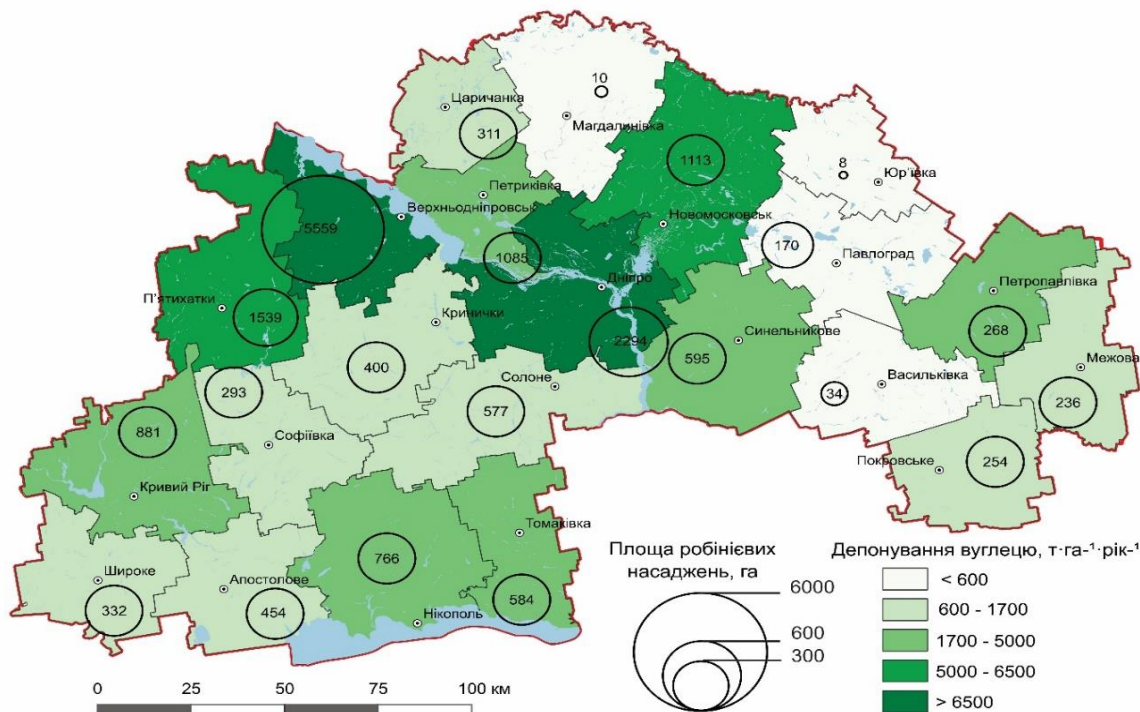


Рис. 8. Депонування вуглецю робінієвими деревостанами у лісах Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства

У досліджуваному регіоні робінієвими деревостанами лісів Державного агентства лісових ресурсів України щороку продукується близько 80,0 тис. т·рік<sup>-1</sup> кисню, за середньої продуктивності останнього 5,01 т·(га·рік)<sup>-1</sup>. Основне здійснення біосферної газової функції – виділення кисню, виконується деревостанами робінії несправжньоакації перестиглої групи віку.

Енергетична безпека та створення власної енергетичної бази, яка має використовувати переважно регіональні відновлювальні джерела енергії, є складовою стратегії сталого розвитку України. Надземна фітомаса деревостанів робінії несправжньоакації в умовах Байрачного степу України здатна акумулювати від 800 до 3000 ГДж енергії на один гектар. Збільшення значень середніх діаметра та висоти головної породи деревостану призводить і до закономірного збільшення енергії, накопиченій у корі та деревині стовбурів. Проте енергія, яка міститься у фітомасі крони, як у гілках, так і у листі, зменшується зі збільшенням середнього діаметра. Із розвитком деревостану частка енергії у деревині стовбурів зменшується, як і енергія фітомаси листя, за рахунок інтенсифікації її акумулювання у фітомасі гілок крони (рис. 9).

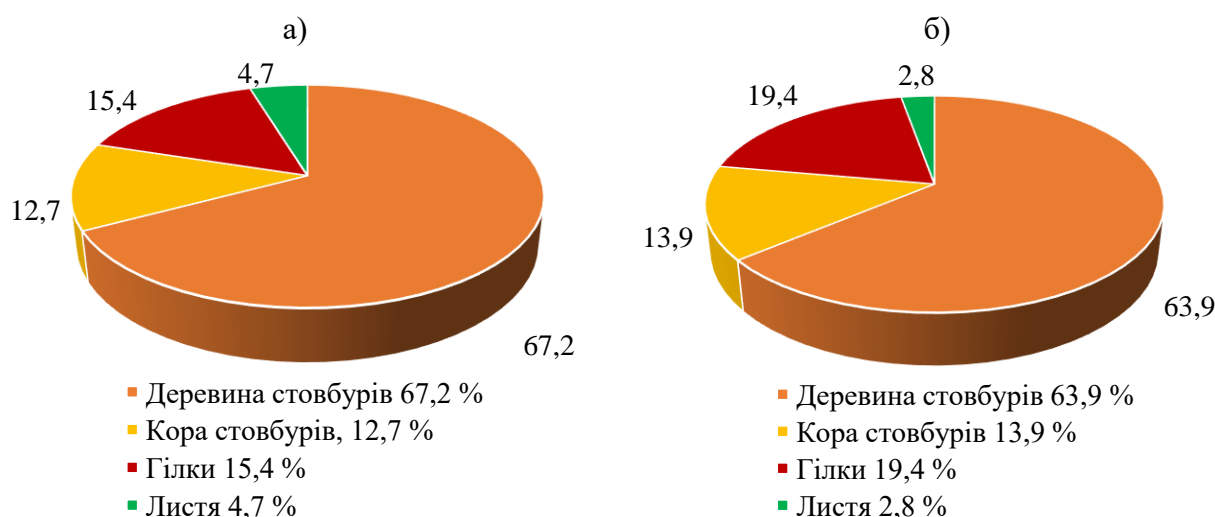


Рис. 9. Розподіл вмісту енергії за компонентами надземної фітомаси робінієвих деревостанів, %: а)  $D=10$  см,  $H=10$  м; б)  $D=20$  см,  $H=20$  м

Загалом, станом на 01.01.2011 р., у 1,96 млн т надземної фітомаси робінієвих деревостанів лісів Дніпропетровської області, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України, акумульовано до 35 млн ГДж (ГДж=10<sup>9</sup> Дж) енергії. Фітомаса надземної частини робінієвих деревостанів регіону дослідження, яка продукується за вегетаційний період може акумулювати до 2012 ТДж (ТДж=10<sup>12</sup> Дж) енергії, або 69 тис. т умовного палива, 48 тис. т нафтового еквівалента.

У рамках оцінювання енергетичної функції робінієвих деревостанів Байрачного степу України досліджено процеси термодеструкції фітомаси деревини та кори стовбурів (табл. 10).

**Енергія активації термодеструкції фітомаси компонентів стовбура  
дерев робінії несправжньоакації**

Компонент фітомаси	Енергетичні показники термодеструкції				
Деревина стовбурів	Інтервал температури, °С	70–130	131–240	241–350	351–560
	Енергія активації, кДж·моль <sup>-1</sup>	35,4	5,5	60,3	22,7
	Ступінь розкладання	0÷0,050	0,051÷0,086	0,087÷0,628	0,629–1
Кора стовбурів	Інтервал температури, °С	30–100	101–240	241–340	341–540
	Енергія активації, кДж·моль <sup>-1</sup>	43,1	7,3	32,6	21,9
	Ступінь розкладання	0÷0,104	0,105÷0,217	0,218÷0,587	0,588÷1

Інтенсивна термічна деструкція фітомаси деревини стовбурів робінії несправжньоакації відбувається за температури 232 °С, кори – 222 °С із втратою маси – 7,8 і 16,3 % відповідно. Найбільший ступінь деструкції фітомаси, як деревини, так і кори, зафіксовано в інтервалі температур 351–560 °С. За температури 500 °С фіксується вихід коксового залишку, за температури 600 °С – утворюється вугілля із вмістом вуглецю 80–95 %. Тепловий ефект екзотермічної фази термічної деструкції деревини стовбурів робінії несправжньоакації у діапазоні температур 120–560 °С становить 647 кДж·моль<sup>-1</sup> (155 ккал·моль<sup>-1</sup>). Екзотермічні ефекти термодеструкції кори стовбурів фіксуються за температури 110–560 °С – 2915 кДж·моль<sup>-1</sup> (696 ккал·моль<sup>-1</sup>).

У шостому розділі «**Неорганічні металічні контамінанти у фітомасі робінієвих деревостанів**» досліджено депонувальні властивості надземної фітомаси дерев робінії відносно неорганічних контамінантів – хімічних елементів групи важких металів (елементи з густиною понад 4,5 г (см<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>: Плюмбуму; Купруму; Нікелю; Кадмію; Стануму; Мангану; Хрому; Цинку; Арсену та напівметалу Стибію. В основі вибору досліджуваних неорганічних контамінантів задіяні геохімічна класифікація елементів, кларки елементів, міграційна здатність у ґрунтах, склад техногенних викидів у регіоні. Розподіл досліджуваних металів за класами небезпеки наступний: I клас – *Pb, Cd, As, Zn*, II клас – *Cr, Cu, Ni*, III клас – *Mn, Sn*. За класифікацією фізіологічної необхідності для рослин *Cu, Zn, Cr, Mn* вважаються есенціальними, що є облігатними елементами метаболізму; *As, Ni* – умовно-есенціальними; *Cd, Pb* – токсичними.

Встановлені фактичні концентрації досліджуваних металічних елементів у ґрунті та їх відповідність до державних екологічних та санітарно-гігієнічних нормативів наведено у табл. 11. Результати порівняльного аналізу фактичних концентрацій хімічних речовин у досліджуваному ґрунті (*pH*=4,8) відносно нормативних значень орієнтовно допустимої концентрації виявили перевищення тільки для одного із досліджуваних металів – Арсену у 5,2 раза.

Вміст неорганічних контамінантів у ґрунті, мг·кг<sup>-1</sup>

Неорганічний контамінант	Фактична концентрація	ГДК	ОДК	Кларки у ґрунтах міст
Арсен	25,8±2,70	2,0	5,0	15,9
Стибій	1,5±0,04	4,5	н/н	1,0
Цинк	56,5±1,57	23,0	110,0	158,0
Плюмбум	40,6±4,58	32,0	65,0	54,5
Хром	93,9±2,21	6,0	н/н	80,0
Нікель	43,1±2,53	4,0	40,0	38,0
Купрум	27,5±0,19	3,0	66,0	39,0
Манган	164,5±1,25	1500,0	н/н	729,0
Станум	40,5±1,40	н/н	н/н	6,8
Кадмій	5,3±0,07	н/н	1,0	0,9

Примітка. ГДК – гранично допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті за показниками шкідливості згідно з нормами ДСанПіН № 2.2.7.029-99; ОДК – концентрації валового вмісту хімічних речовин у ґрунтах різного характеру землекористування за нормативами 2.1.7.2511-09 «Орієнтовно допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті»; Кларки у ґрунтах міст – кларки ґрунтів селетєбних ландшафтів (Алексеєнко В. А. Алексеєнко А. В., 2003); н/н – хімічна речовина не нормується

Відповідність нормам ГДК продемонструвала відсутність перевищення лише одного неорганічного контамінанта із досліджуваних – Мангану. Показники вмісту інших досліджуваних контамінантів ґрунту у різному ступені перевищували нормативні значення: *Pb* – 1,3; *Zn* – 2,5; *Cu* – 9,2; *Ni* – 10,8; *As* – 12,9; *Cr* – 15,7.

Концентрації потенційно токсичних та есенціальних металічних елементів у структурних компонентах надземної фітомаси дерев робінії несправжньоакації представлено на рис. 10, їх порівняння з фізіологічно оптимальними нормами у табл. 12.

За абсолютними значеннями концентрацій неорганічні контамінанти у фітомасі дерев робінії несправжньоакації розподілено на дві групи: речовини значного концентрування (10,0–110,0 мг·кг<sup>-1</sup>) – *Mn*; *Zn* та низького (0,2–10,0 мг·кг<sup>-1</sup>) – *Sb*, *Cr*, *As*, *Cu*, *Ni*, *Sn*, *Cd*, *Pb*. За умови понаднормативного вмісту у ґрунті Купруму, Нікелю, Арсену та Хрому у надземній фітомасі робінії несправжньоакації зазначені металічні елементи концентрувалися у межах оптимальних значень і не спричиняли морфологічних девіацій.

У надземній фітомасі робінії несправжньоакації металічні елементи утворювали ряди за порядком зменшення ступеня акумулювання:

- деревина стовбура – *Sb* > *Zn* > *Cd* > *Cu* > *Pb* > *Mn* > *Sn* > *As* > *Ni* > *Cr*;
- кора стовбура – *Sb* > *Zn* > *Pb* > *Cd* > *Sn* > *Cr* > *Cu* > *As* > *Ni* > *Mn*;
- листя – *Sb* > *Zn* > *Mn* > *Cd* > *Cu* > *As* > *Ni* > *Pb* > *Sn* > *Cr*;
- плоди – *Sb* > *Zn* > *Cu* > *Mn* > *Ni* > *Cd* > *Pb* > *Sn* > *As* > *Cr*.

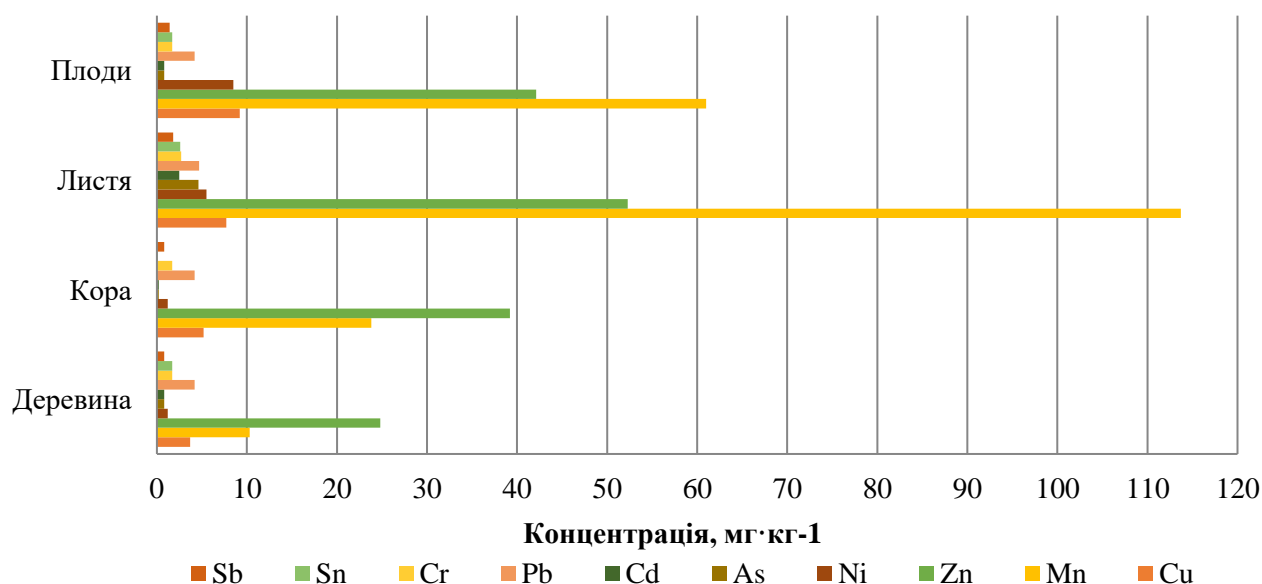


Рис. 10. Концентрації металічних елементів у компонентах надземної фітомаси робінії несправжньоакації

Таблиця 12

**Концентрація металічних елементів у надземній фітомасі дерев робінії несправжньоакації та їх оптимальні межі, мг·кг<sup>-1</sup>**

Метал	В. Мінесв, 1990	Н. Чертко, 2008	Н. Прохорова, 1998	А. Кабата-Пендіас, 1989	Фактичний вміст у фітомасі робінії
Хром	0,2–1,0	–	1,0–2,0	0,02–0,2	1,7–2,8
Купрум	2,0–12,0	5,0–30,0	15,0–20,0	2,0–20,0	3,7–9,2
Нікель	0,4–3,0	≤1,0	25,0–30,0	0,1–2,7	1,1–8,5
Плюмбум	0,1–5,0	1,5–14,0	–	0,05–5,0	4,2–4,7
Станум	0,8–6,0	–	–	–	1,7–2,6
Цинк	15,0–150,0	15,0–150,0	150,0–300,0	–	24,8–52,3
Манган	–	20,0–300,0	25,0–500,0	17,0–334,0	10,3–113,7
Арсен	–	–	–	–	0,8–4,6
Стибій	–	–	–	–	0,8–1,8
Кадмій	–	–	–	–	0,2–2,5

Аналізуючи фактичні концентрації досліджуваних контамінантів, визначених у надземній фітомасі робінії несправжньоакації варто зазначити, що такі елементи, як Купрум, Нікель, Плюмбум, Цинк, містяться у діапазоні, який більшість авторів вважають за оптимальний для функціонування рослин, за умови понаднормативного перевищення у ґрунті цих елементів. Наявність Кадмію й Арсену – елементів, які не використовуються у фізіолого-біохімічних процесах рослинами, за відсутності у літературі будь-яких норм чи меж оптимального вмісту, дозволяє розглядати надземну фітомасу робінії несправжньоакації як потенційного депонатора цих неорганічних металічних контамінантів.

Коефіцієнт біологічної акумуляції було розраховано за виразом (Елпатьевский П. В., Аржанова В. С., 1990):

$$K_{бак} = C_f / C_{суб}, \quad (44)$$

де  $K_{бак}$  – коефіцієнт біологічної акумуляції;  $C_f$  – вміст неорганічних контамінантів у компоненті надземної фітомаси,  $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;  $C_{суб}$  – вміст неорганічних контамінантів у ґрунті,  $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

За визначеними фактичними значеннями  $K_{бак}$  до неорганічних металічних контамінантів значного накопичення можна віднести лише один із досліджуваних елементів – Стибій ( $K_{бак} = 0,533\text{--}1,167$ ), який не належить до фізіологічно значущих елементів метаболізму рослин. Концентрування цього елемента було максимальним для усіх досліджуваних фракцій надземної фітомаси, з найбільшою інтенсивністю у фракції листя (табл. 13).

Таблиця 13

**Коефіцієнти біологічної акумуляції неорганічних контамінантів у фракціях надземної фітомаси дерев робінії несправжньоакації**

Неорганічний контамінант	Деревина стовбура	Кора стовбура	Листя	Плоди
Арсен	0,031±0,09	0,009±0,01	0,178±0,05	0,031±0,02
Стибій	0,533±0,11	0,533±0,06	1,167±0,08	0,913±0,01
Цинк	0,439±0,07	0,323±0,04	0,924±0,09	0,747±0,01
Плюмбум	0,103±0,09	0,103±0,07	0,115±0,07	0,103±0,07
Хром	0,018±0,04	0,018±0,04	0,029±0,01	0,018±0,04
Нікель	0,027±0,03	0,006±0,01	0,127±0,06	0,196±0,09
Купрум	0,134±0,07	0,011±0,01	0,282±0,03	0,334±0,32
Манган	0,063±0,04	0,003±0,01	0,691±0,07	0,320±0,07
Станум	0,042±0,02	0,020±0,02	0,069±0,04	0,042±0,03
Кадмій	0,151±0,04	0,032±0,02	0,479±0,09	0,151±0,05

На основі визначених фактичних концентрацій металічних елементів у фітомасі листя з використанням ГІС-технологій методом зваженої інтерполяції (*Inverse Distance Weighted interpolation*) із використанням програми QGIS ([https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/gentle\\_gis\\_introduction/spatial\\_analysis\\_interpolation.html#figure-idw-interpolation](https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#figure-idw-interpolation)) було здійснено картографування просторового розподілу контамінантів (*Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Ni*) у асиміляційній фракції фітомаси робінієвих деревостанів лісів, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської області (рис. 11).

Наведені картографічні матеріали дозволяють констатувати, що акумулювання Кадмію у більшості робінієвих деревостанів знаходиться у діапазоні  $5,0\text{--}10,0 \cdot 10^{-3} \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Максимальне концентрування ( $\geq 13,0 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) можна спостерігати у деревостанах, які формують лісові масиви біля міст Підгороднє та Кам'янське.

Варіювання вмісту Плюмбуму у фітомасі листя робінії незначне –  $0,10\text{--}0,32 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ . Переважна площа у лісах Дніпропетровської області охоплена деревостанами, які концентрують у асиміляційному апараті  $0,22\text{--}0,32 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$  цього металу. Зона локалізації деревостанів із максимальним акумулюванням зазначеного токсичного елемента зосереджена біля міста Нікополь.

За градуванням концентрацій, наведених на карті, яка демонструє акумулювання Купруму у листяній фракції фітомаси робінієвих деревостанів можна спостерігати майже рівномірний розподіл площі деревостанів із концентраціями  $0,17\text{--}0,19\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  у правобережній частині області та деревостанів, які акумулюють  $0,19\text{--}0,22\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  й зростають переважно на лівому березі Дніпра у регіоні дослідження.

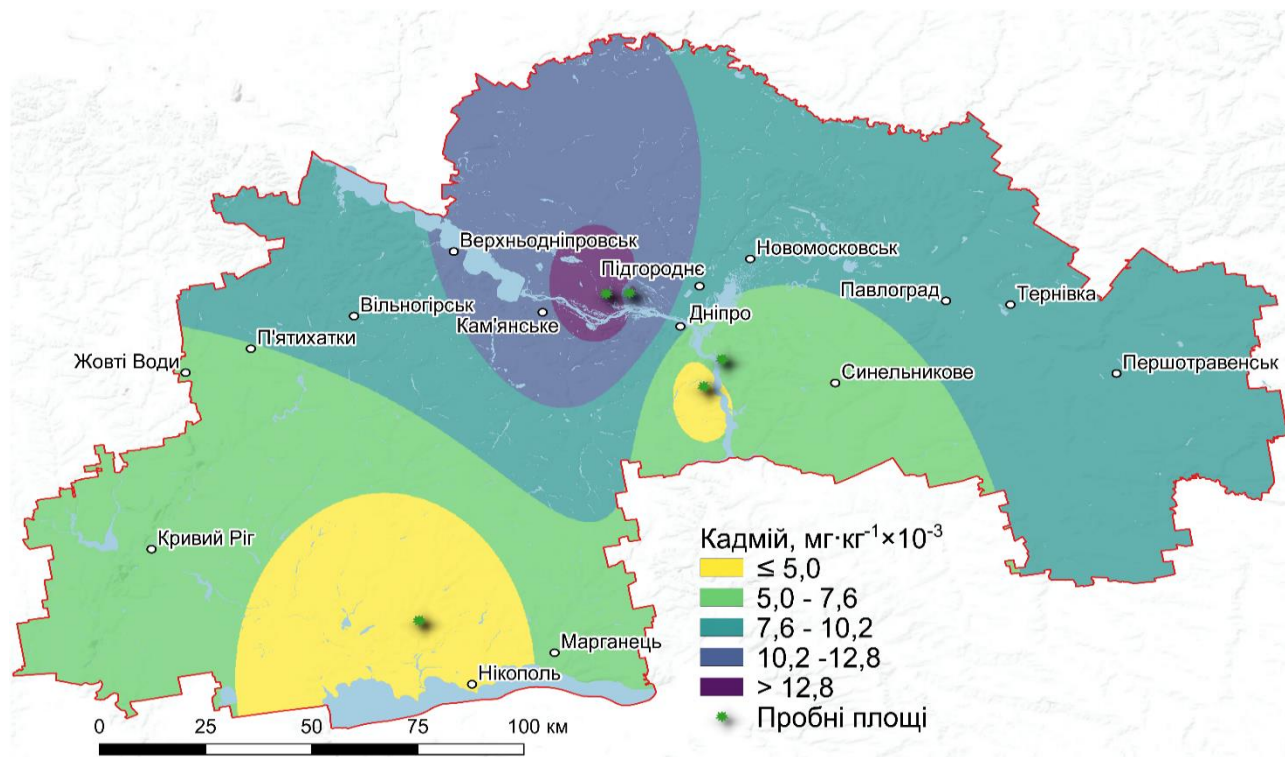


Рис. 11. Концентрування Кадмію у фракції фітомаси листя робінієвих деревостанів у лісах Дніпропетровської області

Серед виявлених градацій концентрування Цинку, переважають деревостани з мінімальними концентраціями  $0,58\text{--}0,95\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Простежуються локалітети незначної площі з концентраціями цього металічного елемента у фітомасі листя, які вдвічі більші за зазначені мінімальні. Діапазон концентрування Нікелю дуже вузький –  $0,03\text{--}0,06\text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ , тобто у фітомасі листя деревостанів лісотвірного виду у регіоні дослідження переважно міститься вказана концентрація. Зона підвищеної акумуляції цього есенціального елемента зафіксована у робінієвих деревостанах лісових насаджень біля міста Нікополь.

Таким чином, акумулювання у фітомасі листя робінієвих деревостанів есенціальних металів – Мангану, Хрому, та умовно-есенціального – Нікелю відповідає межах оптимальності. Одночасно з цим у фітомасі асимілюючої фракції відбувається концентрування Плюмбуму та Кадмію, металів, які не належать до елементів складу рослин і в умовах оптимального функціонування мають бути відсутніми. Зазначене дозволяє розглядати деревостани робінії несправжньооакації як депонатори цих токсичних металів, які виступають домінантними складовими техногенних емісій у Байрачному степу України.

Дослідження кількісних параметрів реалізації екосистемних функцій робінієвими деревостанами лісів Байрачного степу України, а саме депонування вуглецю й енергії та продукування кисню, проведені у площині вирішення проблем стану довкілля урбанізованого та техногенно навантаженого регіону дослідження. Отримані у дисертаційному дослідженні дані дозволять здійснювати оцінку пулів та стоку вуглецю й енергії у загальній надземній фітомасі робінієвих деревостанів та її структурних компонентах, що може слугувати за основу для нормативного регламентування показників стану природного середовища лісгосподарської області Байрачного степу України.

## ВИСНОВКИ

У дисертації викладено результати комплексних досліджень екосистемних функцій деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. лісгосподарської області Байрачного степу України. Опрацювання теоретичних та прикладних підходів щодо оцінювання біотичної продуктивності дало змогу розробити інформаційно-довідкові дані для визначення фітомаси структурних компонентів дерев і деревостанів робінії несправжньоакації. Узагальнення одержаних результатів дослідження дає підстави сформулювати такі основні висновки:

1. Функціональні показники лісового господарства у лісгосподарській області Байрачного степу України не відповідають Гельсінським критеріям сталого управління: наявність значної кількості балансоутримувачів лісів; збіднене видове різноманіття лісотвірних видів; незбалансована вікова структура модальних деревостанів зі значним переважанням перестиглих деревостанів; значна частка об'єктів та територій природно-заповідного фонду у перестиглих лісонасадженнях. Для збільшення лісистості регіону до оптимальної науково обґрунтованої у 8–10 %, за фактичної лісистості 5,6 %, заходи з лісовідновлення й лісорозведення необхідно здійснити на площі до 35,0 тис. га.

2. За аналізом даних реляційної бази «Повидільна таксаційна характеристика лісу» встановлено, що у лісах, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у Дніпропетровській області робінія несправжньоакація формує переважно чисті за складом деревостани (82,5 % від загальної площі робінієвих деревостанів), найбільше поширені у галогенному варіанті сухого сугруду. Робінієві деревостани високоповнотні, зростають переважно за I класом бонітету й представлені перестиглою групою віку із середній запасом стовбурової деревини – 149,1 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>. Найбільшим середнім запасом стовбурової деревини (194 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>) характеризуються деревостани робінії віком 80–85 років.

3. Встановлено, що закономірністю зміни природної і базисної локальної щільності деревини та кори стовбурів дерев робінії є збільшення їхніх значень від окоренкової частини до відносної висоти 0,5h: до середини стовбура характеризується висхідним типом, а на верхній половині стовбура – низхідним. Середня базисна щільність деревини становить 499 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>; середня базисна щільність кори – 301 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>; середня базисна щільність деревини у корі –

456 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. Значення базисної щільності гілок варіюють у межах: щільність деревини – 390–611 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>; щільність кори 230–429 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>; щільність гілок у корі – 408–588 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. Найпридатнішими статистично значущими моделями оцінювання якісних показників компонентів фітомаси визнано алометричні залежності, аргументами яких виступають діаметр стовбура та висота дерев.

4. У процесі моделювання фітомаси структурних компонентів надземної частини деревостанів встановлено, що найпридатнішими за статистичною достовірністю й практичністю застосування визнано регресійні трифакторні залежності фітомаси й конверсійних коефіцієнтів від середнього діаметра, середньої висоти та відносної повноти деревостану. На основі одержаних моделей розроблено комплекс інформаційно-довідкових даних оцінювання надземної фітомаси структурних компонентів на рівні дерева та деревостану.

5. Розроблено алгоритм оцінювання річної продукції надземної частини робінієвих деревостанів у Байрачному степу України. Загальна продукція надземної частини модальних робінієвих деревостанів знаходиться у межах 5,7–6,8 т·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, до 90 % якої становить продукція стовбурової деревини й листя. Продукція надземної частини робінієвих деревостанів лісів, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів у Дніпропетровській області оцінюється до 117273 т·рік<sup>-1</sup>.

6. Кількісні показники реалізації екосистемних функцій робінієвими деревостанами лісів Байрачного степу України становлять: депонування вуглецю фітомасою надземної частини робінієвих деревостанів оцінюється близько 56,0 тис. т·рік<sup>-1</sup>, середнє річне поглинання вуглецю знаходиться на рівні 344 гС·(м<sup>2</sup>·рік)<sup>-1</sup>; щороку продукується близько 80,0 тис. т·рік<sup>-1</sup> кисню, у середньому до 5,0 т·(га·рік)<sup>-1</sup>.

7. Акумуляція у фітомасі листя робінієвих деревостанів есенціальних металів – Мангану, Хрому, та умовно-есенціального – Нікелю відповідає межах оптимальності. Одночасно з цим відбувається концентрування Плюмбуму та Кадмію, металів, які не відносяться до хімічних елементів складу рослин і за умови оптимального функціонування мають бути відсутніми. Зазначене дозволяє розглядати деревостани робінії несправжньо-акації депонаторами цих токсичних металів, які виступають домінантними складовими техногенних емісій у регіоні дослідження.

8. У надземній фітомасі робінієвих деревостанів лісів Дніпропетровської області, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України, акумульовано до 35,0 млн ГДж енергії. Фітомаса надземної частини робінієвих деревостанів регіону дослідження, яка продукується за вегетаційний період може акумулювати до 2012 ТДж енергії, що еквівалентно 68,8 тис. т умовного палива, або 48,1 тис. т нафтового еквіваленту.

9. За дослідженнями термічної деструкції фітомаси деревини стовбурів робінії несправжньоакації встановлено, що її найбільша інтенсивність відбувається за температури 232 °С, кори – 222 °С з відповідною втратою маси – 7,8 і 16,3 %. За температури 500 °С фіксується вихід коксового залишку, 600 °С – утворюється вугілля із вмістом вуглецю – 80–95 %. Тепловий ефект екзотермічної фази термічної деструкції деревини стовбурів робінії

несправжньоакації за діапазону температур 120–560 °С становить 647 кДж·моль<sup>-1</sup> (155 ккал·моль<sup>-1</sup>). Екзотермічні ефекти термодеструкції кори стовбурів фіксуються за температури 110–560 °С – 2915 кДж·моль<sup>-1</sup> (696 ккал·моль<sup>-1</sup>).

## ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для використання у практиці ведення лісового господарства у лісогосподарській області Байрачного степу пропонуються:

- математичні моделі для розрахунку середньої базисної та природної щільності компонентів стовбурів та крони дерев робінії несправжньоакації;
- інформаційно-довідкові дані надземної фітомаси структурних компонентів дерев та деревостанів робінії несправжньоакації;
- алгоритм оцінювання річної продукції надземної частини робінієвих деревостанів.

Компетентним органам у сфері моніторингу й охорони навколишнього природного середовища Дніпропетровської області запропоновано:

- карти акумулювання металічних елементів – головних складових техногенних емісій у асиміляційній складовій фітомасі робінієвих деревостанів;
- картографічний матеріал градієнтного розподілу річної продукції та депонування вуглецю у робінієвих деревостанах за лісогосподарськими підприємствами Державного агентства лісових ресурсів України та адміністративними районами Дніпропетровської області.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Монографія

1. Лакида П. І., Василюшин Р. Д., Блищик В. І., Білоус А. М., Матушевич Л. М., Лашенко А. Г., Бала О. П., Морозюк О. В., Ковалевський С. С., Хань Є. Ю., Ситник С. А., Бокоч В. В., Блищик І. В., Приліпко І. С., Мельник О. М., Дубровець Б. В. Листяні деревостани України: фітомаса та експериментальні дані: монографія. Корсунь-Шевченківський, 2016. 486 с. *(Здобувачем здійснено агрегацію та аналізування дослідних даних деревостанів робінії несправжньоакації з тимчасових пробних площ байрачного степу України).*

### Статті у наукових фахових виданнях України

2. Ситник С. А., Ловинська В. М. Типологічна структура лісокультурного фонду ДП «Дніпропетровське лісове господарство». Збірник науково-технічних праць Національного лісотехнічного університету України. 2009. № 19 (15). С. 188–191. *(Здобувачем виконано збір дослідних даних, оцінювання типологічної структури робінієвих деревостанів, узагальнення висновків).*

3. Ситник С. А., Ловинська В. М. Аналіз структури насаджень Кіровського лісництва Дніпропетровського лісгоспу за крайніми градієнтами зволоження ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво.

2012. Вип. 171 (3). С. 218–223. (Здобувачем проаналізовано таксаційні показники робінієвих деревостанів у різних гігروتпах лісових насаджень Дніпропетровського лісгоспу за даними повидільної бази ВО «Укрдержліспроект»).

4. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М., Величко В. М. Лісівничо-таксаційний аналіз лісів Дніпропетровської області. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2013. № 21 (2). С. 76–82. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір і оброблення дослідних даних вікової та типологічної структур робінієвих деревостанів Дніпропетровської області, узагальнено висновки).

5. Ситник С. А. Аналіз лісівничо-таксаційних показників модальних деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. Лівобережного Придніпровського Степу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198 (1). С. 43–50.

6. Ловинська В. М., **Ситник С. А.**, Думинський Г. П. Ретроспективний аналіз динаміки лісових ресурсів Дніпропетровської області. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2014. № 4. С. 129–134. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, збір і оброблення статистичних даних запасів стовбурової деревини робінієвих лісостанів, узагальнено висновки).

7. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Структура деревостанів головних лісотвірних порід сухих типів лісу Кочерезького лісництва Новомосковського лісгоспу. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. № 24 (4). С. 153–158. (Здобувачем опрацьовано дані таксаційної структури робінієвих деревостанів сухих гігротопів лісових насаджень Кочерезького лісництва Новомосковського лісгоспу, узагальнено висновки).

8. Лакида П. І., **Ситник С. А.** Особливості таксаційної структури деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. Придніпровського Північного Степу України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2014. Вип. 125. С. 25–31. (Здобувачем проаналізовано вікову структуру робінієвих деревостанів, розроблено математичні моделі оцінювання запасу стовбурової деревини, узагальнено висновки).

9. **Ситник С. А.**, Поліщук В. В. Продуктивність деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. залежно від лісорослинних умов Придніпровського Степу України. Автохтонні та інтродуковані рослини. 2014. № 10. С. 156–160. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір і оброблення дослідних даних, оцінено вплив умов трофності та зволоження ґрунту на формування запасу стовбурової деревини робінієвих деревостанів).

10. Ловинська В. М., **Ситник С. А.** Стан й продуктивність деревостанів *Pinus sylvestris* L. та *Robinia pseudoacacia* L. природного заповідника «Дніпровсько-Орільський». Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2014. № 1 (33). С. 191–195. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, оцінено вікову й типологічну структури робінієвих деревостанів природного заповідника «Дніпровсько-Орільський», узагальнено висновки).

11. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М., Олійник О. С. Моніторинг стану деревостанів *Pinus sylvestris* L. та *Robinia pseudoacacia* L. рекреаційно-оздоровчих лісів Лівобережного Північного Степу України. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. 2014. С. 115–119. *(Здобувачем охарактеризовано таксаційну структуру робінієвих деревостанів рекреаційно-оздоровчих лісів у байрачному степу України, узагальнено висновки).*

12. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Вплив типів лісорослинних умов на запас деревини лісоутворювальних порід степового Придніпров'я України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 126. С. 99–105. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, оцінювання залежності запасу стовбурової деревини робінієвих деревостанів байрачного степу України від типу лісорослинних умов, узагальнено висновки).*

13. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М., Харитонов М. М. Вміст елементів групи важких металів у деревині головних лісотвірних порід рекреаційно-оздоровчих лісів Північного Придніпровського Степу України. Лісове і садово-паркове господарство. 2015. № 6 (1). С. 1–10. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, опрацьовано методику детекції важких металів, оброблено експериментальні дані вмісту важких металів у фітомасі дерев робінії несправжньоакації).*

14. **Ситник С. А.**, Балабак А. Ф., Маслікова К. П., Мазурчук А. С. Особливості таксаційної структури модальних деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. в умовах Лівобережно-Дніпровського Степу України. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2015. Вип. 87 (1). С. 86–92. *(Здобувачем здійснено збір дослідного матеріалу, статистично опрацьовано вихідні дані таксаційної структури робінієвих деревостанів байрачного степу України).*

15. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М., Думинський Г. П. Аналіз стану насаджень за участю основних лісотвірних порід державного підприємства «Дніпропетровське лісове господарство». Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. Вип. 25 (1). С. 92–96. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, збір і оброблення вихідних даних лісівничо-таксаційної характеристики робінієвих деревостанів, узагальнено висновки).*

16. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Енергетичний потенціал насаджень головних лісоутворювальних порід Північного Степу України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2016. Вип. 129. С. 146–152. *(Здобувачем виконано розрахунок і здійснено оцінювання енергетичного потенціалу вуглецю, акумульованого у надземній фітомасі робінієвих деревостанів байрачного степу України, узагальнено висновки).*

17. Грицан Ю. І., **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Природно-заповідний фонд у структурі лісового господарства Дніпропетровської області. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2016. № 3 (41). С. 23–27. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, проаналізовано кількісний та якісний склад сучасної категоріальної мережи природно-*

заповідного фонду Дніпропетровської області, здійснено оцінювання стану деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. насаджень заповідного фонду).

18. **Ситник С. А.**, Маслікова К. П., Балабак А. Ф., Мороз Г. Ю., Черевашко Т. М. Лісівничо-таксаційна характеристика модальних деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. в умовах північно-степової лісорослинної зони України. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2016. Вип. 88 (1). С. 187–194. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, оцінено вікову структуру, залежність запасу стовбурової деревини чистих та мішаних деревостанів робінії несправжньооакації від віку та типу лісорослинних умов, узагальнено висновки).

19. Ситник С. А. Енергетичний потенціал робінієвих насаджень Північного Степу України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2017. Вип. 27 (1). С. 79–82.

20. **Ситник С. А.**, Зверковський В. М. Metalli в системі «технозем – *Robinia pseudoacacia*» в рекультиваційних насадженнях Степу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2017. № 3 (45). С. 19–22. (Здобувачем виконано визначення вмісту неорганічних контамінантів-металів у деревині та корі стовбурів, листі та плодах дерев *Robinia pseudoacacia* L. рекультиваційного лісового насадження, розраховано коефіцієнти біоаккумуляції металів, узагальнено висновки).

21. **Ситник С. А.**, Плотка Л. В., Лакида П. І. Базисна щільність компонентів стовбурів *Robinia pseudoacacia* L. в умовах Північного степу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2018. Вип. 266. С. 72–79. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, відібрано експериментальний матеріал, розроблено математичні моделі базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев робінії, узагальнено висновки).

**Статті у наукових виданнях,  
включених до міжнародних наукометричних баз даних  
Scopus/Web of Science**

22. Lovynska V., **Sytyk S.** The structure of Scots pine and Black locust forests in the Northern Steppe of Ukraine. Journal of Forest Science. 2016. Vol. 62 (7). P. 329–336. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, збір експериментального матеріалу, оцінено таксаційну структуру робінієвих деревостанів, узагальнено висновки).

23. **Sytyk S.**, Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe. Folia Oecologica. 2017. Vol. 44 (1). P. 38–45. (Здобувачем виконано оброблення експериментального матеріалу, обґрунтовано алгоритм моделювання якісних показників листяної фракції робінієвих деревостанів).

24. Zverkovskiy V. M., **Sytyk S. A.**, Lovynska V. M., Kharytonov M. M., Mykolenko S. Yu. Remediation potential of forest-forming species in the reclamation planting. Ukrainian Journal of Ecology. 2017. № 7 (3). P. 64–72. (Здобувачем

визначено проблематику, здійснено збір і статистичне оброблення експериментальних даних, визначено вміст важких металів у надземній фітомасі дерев робінії несправжньоакації, узагальнено висновки).

25. Lovynska V., **Sytnyk S.**, Gritsan Yu. Energy potential of main forest-forming species of stands in the Northern Steppe of Ukraine. *Journal of Forest Science*. 2018. Vol. 64 (1). P. 25–32. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, розрахунок енергетичного потенціалу робінієвих насаджень байрачного степу України).

26. Zverkovskyy V. M., **Sytnyk S. A.**, Lovynska V. M., Kharytonov M. M., Lakyda I. P., Mykolenko S. Yu., Pardini G., Margui E., Gispert M. Remediation potential of forest forming tree species within northern steppe reclamation stands. *Ekológia*. 2018. Vol. 37 (1). P. 69–81. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, збір експериментального матеріалу, оцінювання депонувального потенціалу робінії несправжньоакації по відношенню до важких металів).

27. **Sytnyk S.**, Lovynska V., Lakyda P., Maslikova K. Basic density and crown parameters of forest forming species within Steppe zone in Ukraine. *Folia Oecologica*. 2018. Vol. 45. P. 82–91. (Здобувачем здійснено визначення базисної щільності структурних компонентів крони дерев робінії несправжньоакації, узагальнено висновки).

28. Vasylieva N., **Sytnyk S.** Agricultural Greenhouse Gas Emissions: Ukrainian Involvement in the Global Ecological Challenge. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2019. Vol. 75 (3). P. 21–32. (Здобувачем розроблено картографічний матеріал, узагальнено висновки).

29. Lakyda P., Lovynska V., **Sytnyk S.**, Lakyda I., Gritsan Y., Hetmanchuk A. Stem production of Scots pine and black locust stands in Ukraine's Northern Steppe. *Journal of Forest Science*. 2019. Vol. 65 (12). P. 461–471. (Здобувачем здійснено моделювання структурних компонентів стовбурів робінієвих деревостанів).

30. Gritsan Y. I., **Sytnyk S. A.**, Lovynska V. M., Tkalich I. I. Climatogenic reaction of *Robinia pseudoacacia* and *Pinus sylvestris* within Northern Steppe of Ukraine. *Biosystems Diversity*. 2019. Vol. 27 (1). P. 16–20. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, оцінювання впливу кліматичних чинників на періодичний приріст робінії несправжньоакації, узагальнено висновки).

31. Gritsan Y. I., Lovynska V. M., **Sytnyk S. A.**, Hetmanchuk A. Dendroindication of ecoclimatic condition in forest remediation area within Northern Steppe of Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10 (4). P. 457–463. (Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд, узагальнено висновки).

### Статті у наукових фахових виданнях України,

#### включених до міжнародних наукометричних баз даних

32. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М., Грицан Ю. І., Маслікова К. П. Аналіз показників асиміляційної складової у структурі надземної фітомаси деревних порід степових лісостанів України. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2016. Вип. 24 (2). С. 378–383. (Здобувачем виконано збір

експериментальних даних, оцінювання якісних показників асиміляційної складової дерев робінії несправжньоакації, узагальнено висновки).

33. Ситник С. А., Ловинська В. М., Маслікова К. П. Базисна щільність стовбурів головних деревних порід лісостанів Північного степу України. *Ecology and phytology*. 2016. Вип. 27 (3–4). С. 28–34. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, зібрано експериментальний матеріал, визначено базисну щільність деревини у корі стовбурів робінії несправжньоакації у лісових насадженнях байрачного степу України).*

34. Ситник С. А. Природна щільність компонентів стовбурів *Robinia pseudoacacia* L. в умовах Північного степу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 130. С. 193–198.

35. Ситник С. А., Лакида П. І. Індекс площі листової поверхні робінієвих деревостанів Північного степу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 131. С. 143–149. *(Здобувачем здійснено відбір експериментального матеріалу, розрахунок індексу листової поверхні насаджень робінії несправжньоакації у байрачному степу, узагальнено висновки).*

36. Ситник С. А. Фітомаса компонентів стовбурів *Robinia pseudoacacia* L. у штучних деревостанах Північного Степу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. Вип. 132. С. 141–147.

37. Ситник С. А. Моделювання морфометричних показників крони робінії несправжньоакації в умовах Північного степу України. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2018. Вип. 28 (1). С. 34–37.

38. Ситник С. А., Плотка Л. В. Щільність основних компонентів фітомаси стовбурів дерев робінії несправжньоакації в умовах Північного Степу України. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2018. Вип. 28 (5). С. 49–52. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, розраховано щільність компонентів стовбура, розроблено регресійні моделі середньої щільності від таксаційних параметрів дерев, узагальнено висновки).*

39. Ситник С. А., Рула І. В. Термічний аналіз деревини та кори робінії несправжньоакації в деревостанах Північного Степу України. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2018. Вип. 28 (6). С. 125–128. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, відбір та підготовку проб фітомаси деревини та кори стовбурів, математичне моделювання показників термодеструкції фітомаси, узагальнено висновки).*

40. Ситник С. А. Моделювання компонентів фітомаси стовбурів робінієвих деревостанів Північного Степу України. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2019. Вип. 29 (3). С. 48–51.

41. Ситник С. А. Фітомаса компонентів крони робінієвих деревостанів у Північному Степу України. *Agrology*. 2019. № 2 (3). С. 139–145.

42. Лакида П. І., Ситник С. А. Продукція фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів у лісових культурах Північного Степу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2019. Вип. 19. С. 124–134. *(Здобувачем визначено завдання дослідження, здійснено математичне моделювання продукції структурних компонентів надземної фітомаси робінієвих деревостанів, розраховано їх річну продукцію у лісах, підпорядкованих*

Дніпропетровському обласному управлінню лісового та мисливського господарства).

### Статті у наукових виданнях інших держав

43. Лакида П. И., **Сытник С. А.** Качественные показатели лиственной фракции фитомассы *Robinia pseudoacacia* L. в Северной Приднепровской Степи Украины. Проблемы лесоведения и лесоводства. 2015. Вып. 75. С. 83–89. *(Здобувачем розроблено математичні моделі для оцінювання якісних показників асиміляційної складової робінієвих деревостанів байрачного степу України).*

44. Lovynska V., **Sytnyk S.**, Kharytonov M., Katan L. Gumentyk M. Urban Forests Biometric Assessment in the Northern Steppe of Ukraine. Miestų želdynų formavimas. 2016. № 1 (13). P. 228–236. *(Здобувачем здійснено аналітичний огляд, статистичне оброблення експериментальних даних, змодельовано залежність запасу стовбурової деревини робінієвих деревостанів від віку насадження, узагальнено висновки).*

45. **Sytnyk S.**, Lovynska V., Gritsan Yu. The analysis of the taxation structure *Robinia pseudoacacia* L. stands in the forests within of Northern Steppe, Ukraine. Agriculture & Forestry. 2016. Vol. 62 (4). P. 153–160. *(Здобувачем виконано оброблення матеріалів вибіркової таксації робінієвих деревостанів байрачного степу України, узагальнено висновки).*

46. **Sytnyk S.**, Lovynska V., Kharytonov M., Katan L., Gumentyk M. Heavy Metals Accumulation in Wood Tissue of the Main Forest Forming Species in Northern Steppe of Ukraine. Miestų želdynų formavimas. 2017. № 1 (14). С. 202–209. *(Здобувачем здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд акумуляції металічних елементів у деревних видів рослин, оцінено видоспецифічність депонування важких металів у фітомасі робінії несправжньоакації).*

### Тези наукових доповідей

47. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Пам'ятки природи Кочерезького лісництва ДП «Новомосковський лісгосп» Дніпропетровської області. Історико-культурні та природо-охоронні аспекти збереження багатовікових дерев: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–25 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 35–36. *(Здобувачем проаналізовано структуру об'єктів природно-заповідного фонду та стан пам'яток природи у лісах, підпорядкованих Дніпропетровському обласному управлінню лісового та мисливського господарства).*

48. **Sytnyk S.**, Lovynska V., Kharitonov M., Loza I. Effect of forest site type on the growing stock of forest-forming species under conditions of the Dnieper Steppe, Ukraine. Book of proceedings Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015». P. 2118–2125. *(Здобувачем виконано оцінювання типологічної та вікової структур робінієвих насаджень, розраховано середній запас стовбурової деревини, узагальнено висновки).*

49. Ситник С. А. Вплив вологозабезпеченості ґрунту на запас деревини *Robinia pseudoacacia* L. у Північному Придніпровському Степу України. Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження

і раціональне використання: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 116–117.

50. Ситник С. А. Функціональна активність асиміляційного апарату *Robinia pseudoacacia* L. в деревостанах різних умов гігротопного ряду. Міжнародна наукова конференція до 175-річчя Ботанічного саду імені академіка О. В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ, 20–24 травня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 205–206.

51. Ситник С. А. Таксаційна структура деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. у насадженнях об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного значення у степовому Придніпров'ї. Виклики ХХІ століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 7–9 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 47–48.

52. **Sytnyk S. A.**, Lovynska V. M. Qualitative features of wood and bark in *Robinia pseudoacacia* L. trees within forest stands in the Northern Steppe of Ukraine. VII International Scientific Agricultural Symposium «AgroSym», 06–09 October 2016. Jahorina, Bosnia and Herzegovina. P. 1158. *(Здобувачем здійснено оцінювання базисної щільності компонентів стовбура дерев робінії несправжньоакації).*

53. Lovynska V. M., **Sytnyk S. A.** The analysis of the assimilation component parameters of the aboveground biomass of forest-forming species in the Steppe of Ukraine. VII International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym», 06–09 October 2016. Jahorina, Bosnia and Herzegovina. P. 1159. *(Здобувачем здійснено оцінювання якісних показників асимілюючих органів робінієвих деревостанів).*

54. Грицан Ю. І., **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Застосування лісових меліорацій на ландшафтно-екологічній основі Північного Степу України. Ресурсозберігаючі технології та їх правова і економічна оцінка в сільськогосподарському виробництві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–28 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 146–147. *(Здобувачем здійснено оцінювання стану лісомеліоративних робінієвих насаджень у байрачному степу України).*

55. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Асиміляційна складова надземної фітомаси *Robinia pseudoacacia* L. у насадженнях Північного Степу України. Ресурсозберігаючі технології та їх правова і економічна оцінка в сільськогосподарському виробництві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–28 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 171–173. *(Здобувачем оцінено фітомасу асиміляційного апарату робінієвих деревостанів).*

56. Грицан Ю. І., **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Стан та перспективи розвитку об'єктів природно-заповідного фонду у структурі лісового господарства Дніпропетровської області. Динаміка біологічного та ландшафтного різноманіття заповідних територій: Міжнародна конференція, м. Кам'янець-Подільський, 25–27 травня 2016 року: тези доповіді. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 35–37. *(Здобувачем проаналізовано структуру об'єктів природно-заповідного фонду, оцінено стан робінієвих насаджень у фітоценозах).*

57. **Ситник С. А.**, Ловинська В. М. Депонування Кадмію та Плюмбуму у деревині робінії несправжньоакації та сосни звичайної у лісостанах Північного Степу України. Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Тернопіль, 20–21 жовтня 2016 року: тези доповіді. Тернопіль, 2016. С. 110–111. (*Здобувачем визначено акумулювання Кадмію та Плюмбуму у фітомасі стовбурів дерев робінії несправжньоакації*).

58. **Ситник С. А.**, Грицан Ю. І. Біологічна продуктивність робінієвих деревостанів лісів Північного Степу України. Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України: Міжнародна наукова конференція, 25–27 жовтня 2016 року: тези доповіді. Дніпро, 2016. С. 56–57. (*Здобувачем оцінено біотичну продуктивність робінієвих деревостанів за компонентами надземної фітомаси*).

59. Ловинська В. М., **Ситник С. А.** Якісні показники надземної фітомаси домінантного компоненту лісостанів байрачного Степу України. Актуальні питання сучасної аграрної науки: IV Міжнародна науково-практична конференція, м. Умань, 22 листопада 2016 року: тези доповіді. Умань, 2016. С. 122–123. (*Здобувачем здійснено моделювання природної щільності компонентів стовбура дерев робінії несправжньоакації*).

60. Ситник С. А. Депонування вуглецю робінієвими деревостанами у лісах Північного Степу України. Рослини і урбанізація: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Дніпро, 1–2 березня 2017 року: тези доповіді. Дніпро, 2017. С. 164–165.

61. Ситник С. А. Природна щільність компонентів стовбурів *Robinia pseudoacacia* L. в умовах Північного степу України. Ліси східної Європи у світі, що змінюється: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–30 вересня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 112.

62. Sytnyk S. Reclamation Potential of *Robinia pseudoacacia* L. on Mining Rock within Steppe Zone of Ukraine. International Conference «Applied Biotechnology in Mining», April 25–27, Dnipro, Ukraine. 2018. P. 38.

63. **Sytnyk S. A.**, Lovynska V. M., Gritsan Yu. *Robinia pseudoacacia* L. stand leaf area index within Steppe zone of Ukraine. Abstract book 1<sup>st</sup> International Gap Agriculture and Livestock Congress, 25–27 April, Sanliurfa, Turkey, 2018. P. 77. (*Здобувачем виконано розрахунок індексу площі листової поверхні робінієвих деревостанів байрачного степу України*).

64. **Ситник С. А.**, Добровольська О. В. Концепція сталого розвитку: природні ресурси та «зелена економіка». Відновлення біотичного потенціалу агроєкосистем: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Дніпро, 11 жовтня 2018 року: тези доповіді. Дніпро, 2018. С. 123–125. (*Здобувачем оцінено діяльність лісового господарства у байрачному Степу згідно критеріїв сталого розвитку*).

65. Tokar A. V., **Sytnyk S. A.**, Lovynska V. M., Kharytonov M. M. The quantum-chemical investigation of the air absorption characteristics for some structural fragments of lignin macromolecules. Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів: III Всеукраїнська наукова конференція, м. Дніпро,

10 квітня 2019 року: тези доповіді. Дніпро, 2019. С. 104–108. (Здобувачем здійснено збір і оброблення дослідного матеріалу фітомаси робінії).

66. Ситник С. А., Редька К. Потенціал надземної біомаси робінії несправжньоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) у лісовому господарстві Степової зони України. Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Львів, 4–5 квітня 2019 року: тези доповіді. Львів, 2019. С. 30–31. (Здобувачем виконано оцінювання енергетичного потенціалу робінієвих деревостанів байрачного степу).

67. Ситник С. А. Типологічна структура робінієвих насаджень Північного Степу України. Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 9–12 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 73.

68. Ситник С. А. Меліоративні властивості *Robinia pseudoacacia* L. на техногенно трансформованих землях. Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій, м. Київ, 6–8 листопада 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 137–138).

69. Грицан Ю. І., Ситник С. А. Екологічні особливості перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище України. Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів Степової зони: історія, сучасність, перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-річчю з дня народження члена-кореспондента НАН України, доктора біологічних наук, професора А. П. Травлєєва, м. Дніпро, 11 вересня 2019 року: тези доповіді. Дніпро, 2019. С. 24–27. (Здобувачем проаналізовано вплив лісу на абіотичне середовище степової природної зони).

## АНОТАЦІЯ

**Ситник С. А. Біопродуктивність, екологічний та енергетичний потенціал деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. Байрачного степу України.** На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальностей 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація» та 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021.

У дисертації представлено теоретичні й прикладні аспекти оцінювання біотичної продуктивності деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. лісогосподарської області Байрачного степу України. У дослідженні розроблено систему математичних моделей та отримано інформаційно-довідкові дані для визначення фітомаси структурних компонентів дерев і деревостанів робінії несправжньоакації. Визначено якісні показники фітомаси стовбура, крони та асиміляційної фракції дерев робінії. За результатами дослідження розроблено

алгоритм розрахунку річної продукції й здійснено її оцінювання для модальних робінієвих деревостанів.

Оцінено екосистемні функції робінієвих деревостанів, встановлено закономірності акумуляції неорганічних контамінантів у надземній фітомасі в умовах поліелементного забруднення ґрунту металами. Отримано показники термодеструкції фітомаси стовбурів, оцінено енергетичну функцію робінієвих деревостанів. Визначено загальний обсяг накопиченої органічної рослинної речовини, депонованого вуглецю, продукованого кисню робінієвих деревостанів Байрачного степу України.

**Ключові слова:** робінія несправжньоакація, лісогосподарська область, математичне моделювання, нормативно-довідкові дані надземної фітомаси, екосистемні функції, депонований вуглець, неорганічні металічні контамінанти.

## АННОТАЦІЯ

**Сытник С. А. Биопродуктивность, экологический и энергетический потенциал древостоев *Robinia pseudoacacia* L. Байрачной степи Украины. 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, 2021.

В диссертации представлены теоретические и прикладные аспекты оценивания биотической продуктивности древостоев *Robinia pseudoacacia* L. лесохозяйственной области Байрачной степи Украины. В исследовании разработана система математических моделей и получены информационно-справочные данные для определения фитомассы структурных компонентов деревьев и древостоев робинии псевдоакации.

Определены качественные показатели фитомассы ствола, кроны и ассимиляционной фракции деревьев робинии. По результатам исследования предложен алгоритм расчета продукции надземной части робиниевых древостоев. Рассчитана годовая продукция модальных робиниевых древостоев.

Оценены экосистемные функции исследуемых древостоев, установлены закономерности аккумуляции неорганических контаминантов в надземной фитомассе в условиях полиэлементного загрязнения почвы металлами. Получены показатели термодеструкции фитомассы стволов, оценена энергетическая функция древостоев робинии. Для модальных робиниевых древостоев Байрачной степи Украины определены общий объем фитомассы, депонированного углерода, продуцированного кислорода.

**Ключевые слова:** робінія псевдоакація, лесохозяйственная область, математическое моделирование, нормативно-справочные данные надземной фитомассы, экосистемные функции, депонированный углерод, неорганические металлические контаминанты.

## ANNOTATION

**Sytnyk S. A. Bioproductivity, Ecological and Energy Potential of *Robinia pseudoacacia* L. Stands within the Riparian Steppe of Ukraine.** The manuscript.

Thesis for a Doctor's Degree in Agricultural Sciences majoring in 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. 2021.

The thesis work is devoted to the study of theoretical and applied aspects of assessing the biotic productivity of Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in the forestry region of the Riparian Steppe of Ukraine.

The dissertation work is devoted to the study of theoretical and applied aspects of assessing the biotic productivity of stands with *Robinia pseudoacacia* L., the development of mathematical models for evaluating the qualitative indicators of the components of the trunk and crown phytomass in Black locust trees. The development for mathematical dependences of live biomass of structural fractions on the aboveground part of trees and stands on mensuration characteristics was carried out. Quantitative characteristics of ecosystem functions as carbon deposition oxygen production and energy consumption have been established. The accumulation of metal inorganic contaminants in the aboveground phytomass of Black locust stands in the conditions of polyelements soil contamination is estimated.

The methodological basis of the research served as general scientific approaches of cognition and methods of mathematical modeling. The experimental basis of the study was provided by the data obtained in the experimental Black locust stands on temporary sample plots laid on the territory of the forestry region of the Riparian Steppe of Ukraine; the materials of basic forest management and the database «Stand-wise mensurational characteristics of forests» of Ukrainian state project forest inventory production association «Ukrderzhlisproekt».

The thesis research evaluated the indicators of forestry activity in the enterprises of the Dnipropetrovsk Department of Forestry and Hunting of the State Agency of Forest Resources of Ukraine on compliance with the Helsinki criteria on sustainable forest management. The main issues of forest management in the Riparian Steppe which need improvement are the following: optimization of the number of balance holders in forest plantations and a multi-agency forest management system; bringing forestry to a scientifically reasonable norm; the implementation of scientific developments and modern information technologies on forest inventory and monitoring; increase of afforestation volumes, increase of biotic productivity and intensification of performance of ecosystem functions with already existing forest stands; introduction of economic incentives for introduction of innovative forestry and nature conservation technologies. *Robinia pseudoacacia* L. is an introduced tree species which have a significant reclamation potential. In the Riparian Steppe occupies one of the leading positions in the protective afforestation and forest reclamation of man-made disturbed landscapes. The total area of Black locust stands in the forests of the study region, subordinated to the State Agency of Forest Resources of Ukraine is 17683.7 ha with a total stock of trunk wood of 2624.79 thousand m<sup>3</sup>. Black locust stands were mostly pure in composition (82.5 % of the total area of the studied

plantations), and they grow in following seventeen edaphotopes: A<sub>0</sub>–A<sub>2</sub>; B<sub>0</sub>–B<sub>3</sub>; C<sub>0</sub>–C<sub>5</sub>, D<sub>1</sub>–D<sub>4</sub>. The largest area of the stands studied was represented by the suhruds: 9596.5 ha (54.3 % of the total area of Black locust stands). The age structure of the Black locust stands is characterized by a significant predominance of overmature stands, which occupy 72.3 % (12786.0 ha) of the total area of stands of this species, with a small area of young (2.0 %). The stands of overmature age group have the largest total stock of trunk wood, which is 83.6 % of the total stock of stands of this species in the Riparian Steppe of Ukraine. The largest average total stock of trunk wood (194 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) was characterized by overmature Black locust stands aged 80–85 years. The studied area is dominated by Black locust stands with a relative stocking of 0.8 (62.5 % of the total study area). The main part of the area was occupied by Black locust stands, which grow according to I site index class.

In the course of the study, the local basic density of wood, bark, wood in the bark of trunk was determined. Wood in the bark of trunk significantly increases along the trunk from the root part of the trunk to a height of 0.1*h*, where the maximum values of the search value are recorded. The densest wood and bark in Black locust are formed in the middle of the trunk (0.5*h*) at the age of 41–60 years. The average values of local natural and basic density of wood and bark of Black locust tree in the Riparian Steppe of Ukraine have a combined type of changes in relative height: from the root part of the trunk to a relative height of 0.5*h* there is an increase in density followed by a gradual decrease from the middle to the top trunk.

Information-reference data of phytomass estimation of the structural components Black locust trees and stands on the basis of the developed allometric models in which factors of influence acted: for a tree – diameter of a trunk at height of 1,3 m and height of a tree are calculated; for stands – average diameter, average height and relative stocking of stands. The total production of aboveground part of Black locust stands is estimated at 5.67–6.81 t·(ha·year)<sup>-1</sup>, up to 90 % of which is the production of trunk wood and leaves. The maximum production of trunk wood – 4.96 m<sup>3</sup>·(ha·year)<sup>-1</sup> is recorded in Black locust stands with an average diameter of 10 cm and an average height of 6 m. The average density of carbon accumulated in the aboveground phytomass of Black locust stands is 4.30 kgC·(m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>.

It is established that as a result of assimilation activity Black locust stands annually produce about 80.0 thousand tons of oxygen. The average intensity of oxygen production is 5.01 t·(ha·year)<sup>-1</sup>. The phytomass of the aboveground part of the Black locust stands of the study region, which is produced during the growing season, can accumulate up to 2012 TJ of energy, which is equivalent to 69 thousand tons of conventional fuel or 48 thousand tons of oil equivalent. The vast majority of energy accumulates in the wood of trunks (30.5 % of the total annual accumulated energy) and leaves (29.5 %) of study stands of overmature age group.

The thermal effect of the exothermic phase of thermal destruction of Black trunks wood in the temperature range 120–560 °C is 647 kJ·mol<sup>-1</sup> (155 kcal·mol<sup>-1</sup>). Exothermic effects of thermal destruction of trunk bark are recorded at a temperature of 110–560 °C 2915 kJ·mol<sup>-1</sup> (696 kcal·mol<sup>-1</sup>).

The implementation of ecosystem functions by forests can be achieved in the conditions and through the implementation of forest management, which defines

the ecological, economic and social functions of forests as equivalent. As a result, of the research, the prospects of using forest-forming species Black locust in reclamation stands in the conditions of polyelement soil contamination were supported. The obtained results allowed to estimate degree the concentration of metal inorganic contaminants into the phytomass of assimilation organs in the stands studied.

The results of assessment of biotic productivity, annual production of structural components of the aboveground part of stands, quantitative indicators of ecosystem functions should serve to update data on forest resources, rationing of forest use, balanced management of forest ecosystems, monitoring of condition forests and the effectiveness of forest measures.

**Key words:** Black locust, forestry region, mathematical modeling, informational-reference data of the aboveground phytomass, ecosystem functions, deposited carbon, inorganic metal contaminants.

Підписано до друку 01.02.2021 року.      Формат 60x84\16  
Ум. друк. арк. 1,9                                      Обл.-вид.арк. 1,9  
Наклад 100 прим.                                      Зам. № 210031

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





