



ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ І ТАКСАЦІЯ

УДК 630*226:631.11 (094.9)

БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ДЕПОНОВАНИЙ ВУГЛЕЦЬ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ, СТВОРЕНИХ НА ЗЕМЛЯХ, ЩО ВИЙШЛИ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ

П. І. ЛАКИДА, д-р с.-г. наук,
Р. Д. ВАСИЛИШИН, канд. с.-г. наук,
Г. С. ДОМАШОВЕЦЬ, канд. с.-г. наук,
А. Ю. ТЕРЕНТЬЄВ, канд. с.-г. наук,
А. Г. ЛАЩЕНКО, канд. с.-г. наук,
І. П. ЛАКИДА, аспірант,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Наведено результати моделювання біопродуктивності за компонентами фітомаси соснових насаджень, що створені на староорних землях в умовах Українського Полісся. Представлено нормативно-довідкові таблиці динаміки біотичної продуктивності та депонованого вуглецю, а також комплекс якісних показників компонентів фітомаси дерев сосни звичайної.

Ключові слова: насадження, біотична продуктивність, депонований вуглець, староорні землі, щільність.

Однією з найважливіших глобальних екологічних проблем, що викликає чимале занепокоєння світового співтовариства ще з середини 80-х рр. минулого сторіччя, є збереження стабільності кліматичної системи Землі. Основною загрозою в цьому контексті стає стабільне зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері планети і, як наслідок, перші ознаки глобальних кліматичних змін.

Нині головними постачальниками вуглекислого газу в атмосферу є спалювання викопних видів енергетичних ресурсів та емісія CO₂ внаслідок зміни типу землекористування і передусім у галузі лісового господарства. Це зумовлюється втратами біомаси лісів, що супроводжуються виносом депонованого в лісових екосистемах вуглецю та зменшенням його поглинання внаслідок скорочення площ фотосинтезуючої поверхні планети. Однак, враховуючи, що лісові масиви є основним наземним поглиначем вуглекислого газу, який може природним шляхом впливати на його концентрацію в атмосфері, лісгосподарська діяльність розглядається як один із головних чинників,

що може суттєво вплинути на загальний баланс вуглецю.

Активна участь у міжнародній природоохоронній діяльності з питань кліматичних змін ставить перед лісовим господарством України низку принципово нових завдань, серед яких – оцінка екологічного потенціалу лісового господарства щодо поглинання парникових газів та визначення головних напрямів лісгосподарського виробництва для забезпечення виконання вимог Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. На нинішньому етапі для успішного вирішення поставлених завдань потрібна коректна й об'єктивна оцінка загальної біопродуктивності лісів, у т. ч. і насаджень, створених на землях, що вийшли із сільськогосподарського використання. Адже нині в Україні є близько 10 млн га сільськогосподарських невідь, які за умови залісення можуть стати значним резервуаром для депонованого з атмосфери вуглецю.

Метою дослідження було вивчення особливостей накопичення живої органічної речовини в компонентах фітомаси і розроблення нормативних таблиць динаміки депонованого вуглецю та біотичної продуктивності соснових насаджень, створених на землях, що вийшли із сільськогосподарського використання в умовах Українського Полісся.

Процес дослідження та розроблення нормативно-довідкових таблиць біотичної продуктивності соснових насаджень і депонованого в них вуглецю здійснювався шляхом поєднання теоретичних та емпіричних методів і складався з таких

Таблиця 1
Середня щільність компонентів фітомаси стовбурів та гілок дерев

Вид	Щільність ($\rho \pm m\sigma$), кг/м ³		
	деревина	кора	деревина + кора
Компоненти фітомаси стовбура			
Природна	845 ± 14	459 ± 16	788 ± 14
Базисна	388 ± 7	232 ± 9	358 ± 6
Компоненти фітомаси гілок крони			
Природна	902 ± 21	849 ± 28	889 ± 12
Базисна	383 ± 11	337 ± 15	375 ± 9

**Математичні моделі фракцій фітомаси насаджень сосни звичайної
на староорних землях та їх статистична оцінка**

№ мод.	Фракція фітомаси	Вид залежності	Статистики оцінки рівнянь			
			R^2	статистики залишків		
				A	E	r
1	Стовбур у корі	$Ph_s = 0,328 \cdot G^{0,947} \cdot H^{0,915}$	0,93	0,333	2,712	0,282
2	Кора стовбура	$Ph_b = 5,253 \cdot H^{0,728} \cdot (1 - 0,60 \cdot P) \cdot P^{1,733}$	0,91	0,790	2,273	0,780
3	Гілки в корі	$Ph_c = 25,462 \cdot A^{-1,109} \cdot D^{1,723} \cdot (1 - 0,74 \cdot P) \cdot P^{1,914}$	0,62	1,931	5,176	0,851
4	Хвоя	$Ph_n = 1,576 \cdot A^{0,902} \cdot \exp(-0,0404 \cdot A) \cdot D^{0,489} \cdot (1 - 0,80 \cdot P) \cdot P^{2,151}$	0,56	0,220	5,900	0,270

етапів: вивчення досвіду дослідження фітомаси [1, 2, 3, 5, 7]; збирання, оброблення та аналіз дослідних даних [1, 3]; моделювання компонентів фітомаси деревостану та перевірка моделей [1, 2]; розроблення відповідних нормативів та їх верифікація [1, 5, 7].

Для інформаційного забезпечення дослідження біотичної продуктивності та оцінки вуглецедепонувальних функцій лісових насаджень викорис-

тано дані десяти тимчасових пробних площ (ТПП) у соснових насадженнях, що створені на землях, які вийшли із сільськогосподарського використання. Віковий діапазон насаджень коливався від 16 до 67 років. Пробні площі закладалися переважно в чистих деревостанах, які характеризувалися типами лісорослинних умов A_3 та B_3 , I–Іс класами бонітету і відносними повнотами від 0,63 до 0,93.

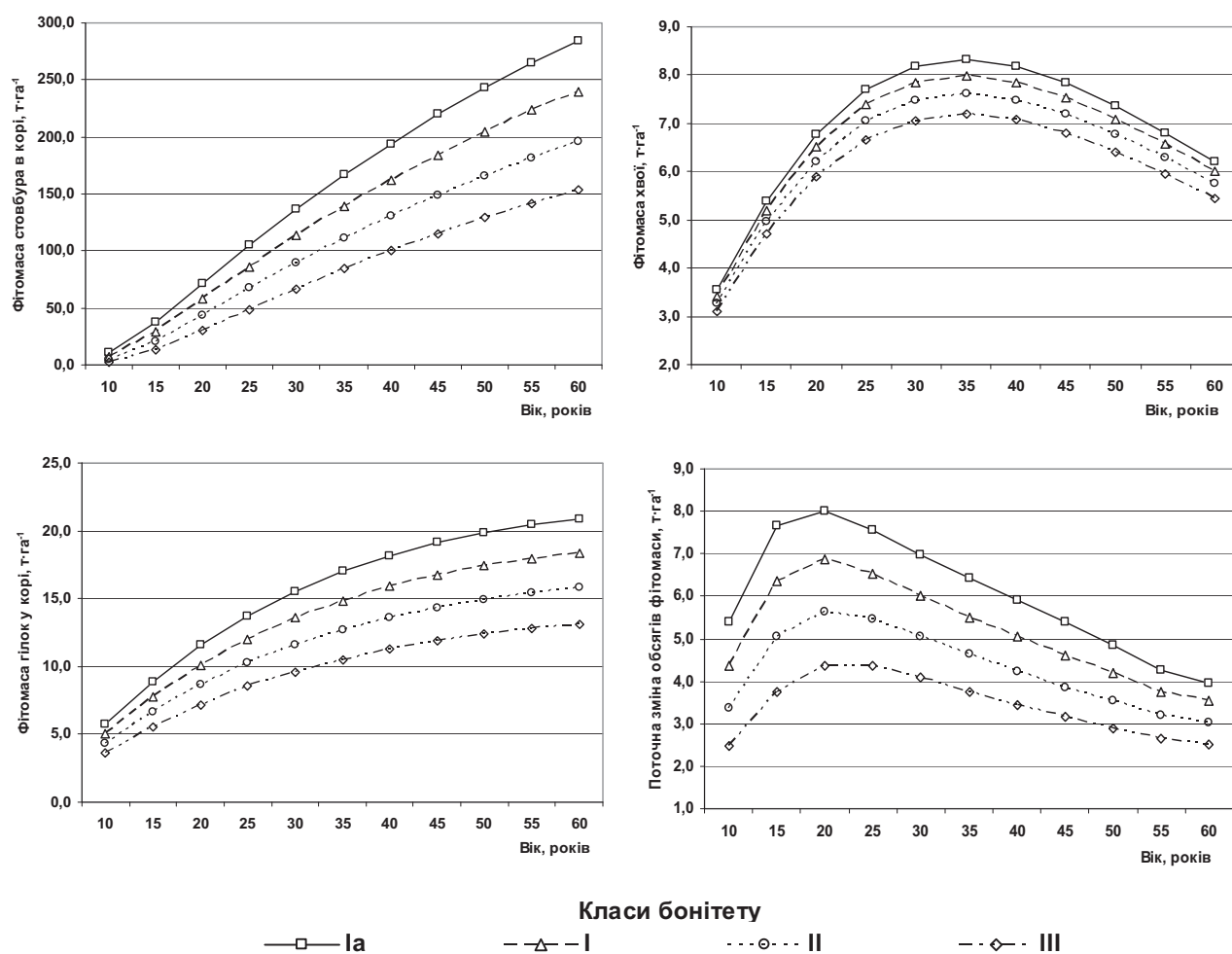


Рис. 1. Динаміка окремих компонентів і поточної зміни обсягів фітомаси соснових деревостанів залежно від класів бонітету

Біопродуктивність модальних соснових деревостанів на староорних землях в умовах Українського Полісся

Вік, років	Деревостан									Частина, що вибирається							Загальна продуктивність фітомаси, т/га ⁻¹	Загальний приріст фітомаси, т/га	
	середня висота, м	середній діаметр, см	Фітомаса, т/га						середня висота, м	середній діаметр, см	деревина стовбура в корі	Фітомаса, т/га				середній		поточний	
			деревина стовбура в корі	крона		кореневі системи	піднаметова рослинність	загальна				хвоя	гілки	кореневі системи	загальна				
				хвоя	гілки														
10	3,5	4,1	10,5	3,5	5,7	4,5	1,1	25,3	3,1	2,9	1,4	0,4	0,5	0,3	2,6	27,9	2,8	7,6	
15	6,4	6,9	37,9	5,4	8,9	7,6	1,6	61,4	5,6	4,9	4,5	0,9	1,3	0,9	7,5	71,5	4,8	9,9	
20	9,2	9,6	71,9	6,8	11,6	10,5	2,0	102,8	8,2	6,8	9,2	1,4	2,2	1,7	14,4	127,3	6,4	11,7	
25	11,8	12,2	105,3	7,7	13,8	13,3	2,4	142,5	10,5	8,7	14,3	1,7	3,0	2,5	21,6	188,5	7,5	12,6	
30	14,1	14,6	136,8	8,2	15,5	15,7	2,8	179,0	12,7	10,5	19,2	2,0	3,5	3,3	28,0	253,0	8,4	13,1	
35	16,3	16,9	166,4	8,3	17,0	18,0	3,2	212,9	14,7	12,3	23,3	2,0	3,8	3,9	33,0	319,9	9,1	13,5	
40	18,2	19,1	194,1	8,2	18,2	20,0	3,5	244,0	16,6	14	26,3	2,0	3,9	4,4	36,6	387,6	9,7	13,5	
45	20	21,2	220,0	7,8	19,1	21,8	3,8	272,5	18,3	15,7	28,4	1,8	3,8	4,7	38,8	454,9	10,1	13,3	
50	21,6	23,2	243,7	7,4	19,9	23,4	4,1	298,5	19,8	17,4	29,6	1,7	3,7	4,9	39,9	520,8	10,4	12,9	
55	23,1	25,1	265,1	6,8	20,4	24,7	4,5	321,5	21,2	19,0	30,0	1,5	3,4	5,0	39,9	583,7	10,6	12,2	
60	24,5	26,9	284,0	6,2	20,9	25,8	4,8	341,7	22,6	20,6	29,7	1,3	3,2	5,0	39,3	643,2	10,7	11,9	

Для оцінювання якісних параметрів компонентів фітомаси на ТПП було зрубано та пофракційно оцінено 41 модельне дерево. При цьому було також відібрано 90 дослідних зрізів стовбура та гілок, а також 47 проб деревної зелені і 26 наважок хвої. Опрацьовувалися дослідні зразки в екологічній лабораторії навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства НУБіП України.

Усі дослідні дані було згруповано в робочі масиви та оброблено за допомогою спеціального програмного забезпечення [1].

Однією з базових основ у межах наукових досліджень, які стосувалися вивчення питань біотичної продуктивності лісів та розроблення нормативного забезпечення оцінки компонентів фітомаси дерев (деревостанів), є оцінка їх якісних параметрів, до яких відносять щільність, вологість та вміст абсолютно сухої речовини.

Щільність дає вагову характеристику компонентів фітомаси і за її допомогою можна розрахувати вміст абсолютно сухої речовини у фракціях фітомаси та встановити вагову продуктивність деревостану, яка є більш важливим показником, аніж продуктивність деревостану за об'ємом [4].

Для визначення якісних показників компонентів фітомаси дерев сосни звичайної на староорних землях було використано усереднені параметри (табл. 1).

Для фотосинтезуючої фракції були зафіксовані такі якісні показники: середнє значення відсотка хвої у фракції деревної зелені – 62,2% від маси охоєних гілок, вміст абсолютно сухої речовини в свіжій хвої – 0,43.

У процесі моделювання компонентів фітомаси для апроксимації дослідних даних було використано алометричне рівняння $Y=aX^b$, яке має певні переваги при аналітичному оцінюванні продуктивності насаджень. Згідно з положеннями системного підходу при вивченні складних лісових екосистем та необхідності найбільш повного врахування всіх існуючих взаємозв'язків, функція апроксимації ускладнювалась у бік збільшення параметрів входу.

Таким чином, у процесі регресійного аналізу виявилось, що найбільш придатними є двофакторна і трифакторна моделі залежності фітомаси окремих компонентів від таких таксаційних ознак, як вік (A), середній діаметр (D), середня висота (H), абсолютна (G) та відносна повнота (P) насадження.

Результати моделювання із статистичною оцінкою моделей подано в табл. 2.

Оскільки під час досліджень фітомаси соснових деревостанів не досліджувалися такі компоненти, як коріння та піднаметова рослинність, для створення відповідних нормативно-довідкових таблиць було використано множинні регресійні рівняння зазначених компонентів фітомаси з наукових літературних джерел [7].

У підсумку, як результат, ми отримали регресійні рівняння, що пов'язують фітомасу насадження за компонентами з таксаційними показниками насадження. Використання багатомірних залежностей дає можливість отримувати максимум інформації з дослідних даних і до певної міри врахувати регіональні особливості екосистем. На основі таблиць ходу росту [6] та моделей оцінки фітомаси (моделі

Динаміка депонованого вуглецю соснових деревостанів на староорних землях в умовах Українського Полісся

Вік, років	Деревостан								Частина, що вибирається								Загальна продуктивність вуглецю, т-га ⁻¹	Загальний приріст вуглецю, т-га ⁻¹	
	середня висота, м	середній діаметр, см	Вуглець, т-га ⁻¹						середня висота, м	середній діаметр, см	Вуглець, т-га ⁻¹				середній	поточний			
			деревина стовбура в корі	крона		кореневі системи	піднаметова рослинність	загальна			деревина стовбура в корі	крона		кореневі системи				загальна	
10	3,5	4,1	5,3	1,6	2,9	2,3	0,5	12,5	3,1	2,9	0,7	0,2	0,3	0,1	1,3	13,7	1,4	3,8	
15	6,4	6,9	19,0	2,4	4,5	3,8	0,8	30,4	5,6	4,9	2,2	0,4	0,6	0,4	3,7	35,4	2,4	4,9	
20	9,2	9,6	36,0	3,1	5,8	5,3	1,0	51,0	8,2	6,8	4,6	0,6	1,1	0,8	7,1	63,1	3,2	5,8	
25	11,8	12,2	52,7	3,5	6,9	6,7	1,2	70,8	10,5	8,7	7,2	0,8	1,5	1,3	10,7	93,6	3,7	6,3	
30	14,1	14,6	68,4	3,7	7,8	7,9	1,3	89,0	12,7	10,5	9,6	0,9	1,8	1,6	13,9	125,7	4,2	6,5	
35	16,3	16,9	83,2	3,7	8,5	9,0	1,5	106,0	14,7	12,3	11,6	0,9	1,9	2,0	16,4	159,1	4,5	6,7	
40	18,2	19,1	97,1	3,7	9,1	10,0	1,7	121,5	16,6	14,0	13,2	0,9	2,0	2,2	18,2	192,8	4,8	6,7	
45	20,0	21,2	110,0	3,5	9,6	10,9	1,8	135,8	18,3	15,7	14,2	0,8	1,9	2,4	19,3	226,4	5,0	6,6	
50	21,6	23,2	121,9	3,3	10,0	11,7	2,0	148,8	19,8	17,4	14,8	0,8	1,8	2,5	19,8	259,3	5,2	6,4	
55	23,1	25,1	132,6	3,1	10,2	12,4	2,2	160,3	21,2	19,0	15,0	0,7	1,7	2,5	19,9	290,7	5,3	6,1	
60	24,5	26,9	142,0	2,8	10,5	12,9	2,3	170,4	22,6	20,6	14,9	0,6	1,6	2,5	19,6	320,4	5,3	5,9	

1–4) було розроблено нормативи біопродуктивності й депонованого вуглецю (з використанням певних положень методики за *G. Matthews*) [8]. Фрагменти одержаних нормативів (для Іа класу бонітету) подано в табл. 3 та 4.

Графічну інтерпретацію особливостей динамічних змін окремих компонентів фітомаси і поточної зміни запасу загальної фітомаси показано на рис. 1.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 3 та на рис. 1, слід відзначити, що значення фітомаси практично всіх компонентів, окрім хвої, збільшуються протягом усього досліджуваного періоду. Така тенденція є типовою і для штучних соснових насаджень, створених на лісових ділянках [3], однак від досліджуваних деревостанів останні відрізняються нижчими показниками загальної продуктивності фітомаси, що зумовлено насамперед більшою енергією росту сосняків на староорних землях. Щорічний приріст фітомаси в цих умовах коливається від 7,5 до 13,5 т/га і досягає максимуму у віці 35–40 років. Насадження цього віку на одному гектарі лісових ділянок здатні депонувати близько 6,5 т вуглецю на рік. Водночас соснові насадження на староорних землях можуть пошкоджуватися кореневою губкою та характеризуватись у цьому випадку меншими значеннями поглинання вуглецю. Варто зазначити, що через недостатню кількість дослідних даних для насаджень старшого віку (понад 60 років) запропоновані нами нормативи є адекватними у віковому діапазоні від 10 до 60 років.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень засвідчують, що соснові насадження, створені на староорних землях в умовах Українського Полісся, мають значний екологічний потенціал щодо депонування вуглецю з атмосфери. Запропоновані нормативно-довідкові таблиці біотичної продуктивності та динаміки депонованого вуглецю можна використати під час екологічного моніторингу лісових екосистем регіону, а також для ефективного впровадження в Україні фінансових механізмів вуглецевого ринку через реалізацію проектів спільного впровадження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Лакида П. І.** Фітомаса лісів України: [монографія] / П. І. Лакида. – Тернопіль: Збруч, 2002. – 256 с.
2. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. Запасы фитомассы и мертвой растительной органической массы / А. З. Швиденко, С. Нильсон, В. С. Столбовой [и др.] // Экология. – 2000. – №6. – С. 403–410.
3. **Петренко М. М.** Динаміка фітомаси та депонованого вуглецю в штучних насадженнях сосни Полісся України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.03.02 «Лісовпо-

рядкування та лісова таксація» / М. М.Петренко. – К., 2002. – 17 с.

4. **Полубояринов О. И.** Плотность древесины / О. И. Полубояринов – М.: Лесная про-сть, 1976. – 160 с.

5. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии: нормативно-справочные материалы / [Науч. ред. А. З. Швиденко]. – М., 2006. – 803 с.

6. Хід росту модальних соснових деревостанів, створених на землях, що вийшли із сільськогосподарського використання / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, А. Ю. Терентьев [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип. 164. Ч. 1. – С. 241–250.

7. Carbon, Climate and Managed Land in Ukraine: Integrated Data and Models of Land Use for NEESPI (Forest Sector) / A. Shvidenko, P. Lakyda, I. McCallum, S. Nilsson, D. Schepaschenko, R. Vasylyshyn // Reports on work of the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. – 2008. – P. 77.

8. **G. Matthews.** The Carbon Contents of Trees / G. Matthews // Forestry Commission. Tech. Paper 4. – Edinburgh. 1993. – 21 p.

BIOPRODUCTIVITY AND SEQUESTERED CARBON OF PINE STANDS ON FORMER AGRICULTURAL LANDS

**P. I. LAKYDA, Dr. hab.,
R. D. VASYLYSHYN, PhD,
G. S. DOMASHOVETS, PhD,
A. YU. TERYTYEV, PhD,
A. G. LASHCHENKO, PhD,
I. P. LAKYDA, PhD student**
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Results of modeling of bioproductivity of pine stands of artificial origin on former agricultural lands by live biomass components in Ukrainian Polissya are shown. Reference tables on dynamics of bioproductivity and sequestered carbon as well as complex of qualitative indices of live biomass components of pine trees are presented.

Key words: stand, biological productivity, sequestered carbon, former agricultural lands, density.

БИОПРОДУКТИВНОСТЬ И ДЕПОНИРОВАННЫЙ УГЛЕРОД СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ, СОЗДАНЫХ НА ЗЕМЛЯХ, КОТОРЫЕ ВЫШЛИ ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**П. И. ЛАКИДА, д-р с.-х. наук,
Р. Д. ВАСИЛИШИН, канд. с.-х. наук,
Г. С. ДОМАШОВЕЦ, канд. с.-х. наук,
А. Ю. ТЕРЕНТЬЕВ, канд. с.-х. наук,
А. Г. ЛАЩЕНКО, канд. с.-х. наук,
И. П. ЛАКИДА, аспирант,**
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Приведены результаты моделирования биопроductивности по компонентам фитомассы сосновых насаждений, которые созданы на старопахотных землях в условиях Украинского Полесья. Представлены нормативно-справочные таблицы динамики биотической продуктивности и депонированного углерода, а также комплекс качественных показателей компонентов фитомассы деревьев сосны обыкновенной.

Ключевые слова: насаждение, биотическая продуктивность, депонированный углерод, старопахотные земли, плотность.