

УДК 630.161

С. А. СИТНИК, В. М. ЛОВИНСЬКА*

**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ НАСАДЖЕНЬ ГОЛОВНИХ
ЛІСОУТВОРЮВАЛЬНИХ ПОРІД ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Оцінено енергетичний потенціал соснових і робінієвих насаджень Північного Степу України в лісостанах підприємств, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України. Площа соснових насаджень у досліджуваному регіоні становить 21 472,9 га (32,5 % площі вкритих лісовою рослинністю земель), робінієві деревостани – 17683,7 га (26,9 % площі вкритих лісовою рослинністю земель). Обчислено загальні значення компонентів надземної фітомаси в розрізі вікової структури насадження. Здійснено розрахунок обсягу депонованого вуглецю за компонентами фітомаси та віковою структурою. Загальний бюджет вуглецю в лісостанах головних лісоутворювальних порід становить 2 034,34 тис. т, серед яких 1 134,14 тис. т – для соснових деревостанів та 900,20 тис. т – для робінієвих. Основними резервуарами вуглецю є деревостани обох порід віком 41–60 років, які акумулюють 1 019,78 та 675,16 тис. т відповідно, що становить майже половину всього запасу вуглецю, депонованого досліджуваними деревостанами. Серед компонентної структури надземної фітомаси найбільш вагомий внесок у загальне депонування вуглецю має деревина стовбурів: для соснових деревостанів – 81,6 %, робінієвих – 65,9 %. Енергетичний потенціал вуглецю, акумульованого у фітомасі соснових деревостанів, становить 40 556,84 ГДж, робінієвих – 32 188,14 ГДж.

К л ю ч о в і с л о в а : Північний Степ України, робінієві деревостани, соснові деревостани, наземна фітомаса, вікові групи, депонування вуглецю, енергетичний потенціал лісових насаджень.

Вступ. Енергетична безпека та створення власної енергетичної бази, яка має використовувати регіональні відновлювальні джерела енергії, є складовою стратегії сталого розвитку України. Країна щорічно споживає близько 210 млн. т умовного палива паливно-енергетичних ресурсів і належить до енергодефіцитних країн. Водночас Україна має значний потенціал нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії, використання якого в енергетичному балансі становило в 1995 р. 0,13 %, а у 2000 р. вже близько 5,3 % [1, 4]. Потенційну технічно досяжну частку заміщення органічного палива за рахунок нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії в країні оцінюють у 29,2 % [9].

Зважаючи на це, необхідно інтенсифікувати використання ресурсів відновлювальних джерел енергії, які можуть бути застосовані в енергетиці регіонального та місцевого рівнів. До таких джерел належить і біомаса лісових екосистем [3, 11]. Питомий обсяг біомаси сухої органічної речовини лісового біоценозу оцінюють у $200\text{--}1000\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, що на два-три порядки є більшим, ніж відповідні показники лучних екосистем та агроугідь. Саме надземна фітомаса забезпечує первинну продукцію органічної речовини в лісових природних комплексах у розмірі $4\text{--}50\text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ щорічно, що містить $150\text{--}250\text{ млн кДж}\cdot\text{га}^{-1}$ накопиченої енергії [6, 7].

Фітомаса дерев як відновлюване джерело енергії, процесами утворення та використання якого можна керувати, є одним із екологічно чистих видів палива. В Україні загальну кількість акумульованого лісовими насадженнями вуглецю оцінено в 766,4 млн. т CO_2 [8]. За даними П. І. Лакиди [5], у фітомасі лісів України, що становить 1 237,2 млн. т, акумульовано близько 615 млн. т вуглецю.

Останнім часом проведено велику кількість комплексних досліджень біопродуктивності деревостанів за компонентами фітомаси та з оцінювання депонування вуглецю лісовими насадженнями у різних природно-кліматичних зонах України [2, 3, 5, 8, 13, 14, 15, 16]. Проте роботи за даною проблематикою для лісових насаджень степової зони України та визначення енергетичного потенціалу соснових та робінієвих деревостанів Північного Степу відсутні. За критерієм забезпечення ефективного виконання природоохоронних, рекреаційних, ґрунтозахисних та водозахисних функцій лісистість зони Степу є далекою від оптимальної, і першочерговим завданням вирощування цих лісів є забезпечення виконання критеріїв сталого розвитку регіону.

* © С. А. Ситник, В. М. Ловинська, 2016

Дослідження запасів вуглецю в деревостанах лісоутворювальних порід різного віку та в основних компонентах їхньої надземної фітомаси в умовах Північного байрачного Степу є вкрай цікавими та актуальними. Адже, виконуючи ключову екологічну роль, лісові екосистеми Північного Степу резервують значні обсяги енергетичної біомаси, зокрема дров'яної стовбурової деревини, що є одним із основних джерел забезпечення енергетичного потенціалу цього регіону.

Мета дослідження – оцінити енергетичний потенціал насаджень головних лісоутворювальних порід Північного Степу України шляхом визначення компонентів надземної фітомаси деревостанів та депонованого вуглецю.

Результати досліджень дадуть змогу провести порівняльний аналіз головних порід лісонасаджень Степу – робінії несправжньої акації (*Robinia pseudoacacia* L.) та сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у розрізі вікових груп та визначити компонент фітомаси, що максимально депонує вуглець.

Матеріали й методи. Під час дослідження біопродуктивності соснових та робінієвих деревостанів за компонентами фітомаси використовували методики П. І. Лакиди, описані в наукових працях [2, 5, 6, 14, 15]. З метою визначення компонентів надземної фітомаси для кожної породи, що досліджувалася, було закладено по 15 тимчасових пробних площ (ТПП) у лісах, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів, у межах Північного Степу України з урахуванням переважних типів лісорослинних умов і вікових груп. Для визначення площі та запасів соснових і робінієвих деревостанів за віковими групами використовували повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 2011 р. Загальний обсяг вибірки з бази становив 5 158 таксаційних виділів (соснові деревостани) та 4 739 (робінієві деревостани). Для розрахунку компонентів фітомаси надземної частини деревостанів використовували дані суцільного переліку стовбурів на ТПП та визначення біометричних параметрів модельних дерев із використанням програмного забезпечення *Perta* (автор П. І. Лакида). Під час вибору модельних дерев орієнтувалися на вимоги методу пропорційно-ступінчастого представництва. Модельні дерева зрубали, з них відібрали дослідні зрізи деревини стовбура завтовшки 2–3 см на відносних висотах 0; 0,1h; 0,25h; 0,5h; 0,75h, на яких визначали природну та базисну щільність деревини та кори. На дослідних зрізах визначали масу у свіжозрубаному стані та після висушування за температури 105°C. Об'єм зразків розраховували з використанням прикладних комп'ютерних програм *Zriz*, *Plot* (автор П. І. Лакида).

Для оцінювання вмісту вуглецю та акумульованої енергії у фітомасі було використано усереднені дані з наукових літературних джерел, де зазначено, що середній коефіцієнт умісту вуглецю в одній тонні деревної фітомаси (деревина, кора) у середньому становить 0,50, а у фракції листя (хвої) – 0,45 [13]. Енергетичний потенціал однієї тонни вуглецю, акумульованого у фітомасі, становить 35,78 ГДж (1 ГДж = 10⁹ Дж) [12].

Результати та обговорення. За результатами опрацювання бази даних лісовпорядкування ВО «Укрдержліспроект» встановлено, що в лісостанах Північного Степу загальна площа соснових насаджень становить 21 472,9 га (32,5 % площі, вкритої лісовою рослинністю) із запасом стовбурової деревини 4 571,1 тис. м³. Соснові деревостани природного походження займають площу 3 693,8 га (17,2 %), тоді як лісові культури цієї породи займають 17 779,1 га, що відповідно становить 82,8 % всієї площі соснових насаджень. Робінієві деревостани виконують меліоративну, ґрунтозахисну та середовищотвірну функції та займають площу 17 683,7 га (26,9 % площі, вкритої лісовою рослинністю) із загальним запасом стовбурової деревини 2 624,81 тис. м³ [12].

Першим етапом досліджень став розрахунок значень компонентів надземної фітомаси за віковими групами для деревостанів двох досліджуваних порід. Результати розрахунків екологічного потенціалу соснових та робінієвих насаджень за чисельними параметрами надземної фітомаси наведено у табл. 1.

Екологічний потенціал соснових та робінієвих деревостанів Північного Степу України

Група за віком, роки	Компоненти надземної фітомаси частини деревостанів, тис. т (абсолютно сухий стан)				Депонований вуглець, тис. т			
	Деревина стовбурів	Кора стовбурів	Гілки у корі	Хвоя (листя)	Деревина стовбурів	Кора стовбурів	Гілки у корі	Хвоя (листя)
0 – 20	1,56	0,36	0,28	1,98	0,78	0,18	0,14	0,89
	1,86	0,32	4,55	5,16	0,91	0,16	2,30	2,32
21–40	511,82	29,82	47,68	32,91	255,91	14,91	23,84	14,81
	226,40	48,71	72,31	12,28	110,94	23,87	35,43	5,53
41–60	820,18	116,35	53,75	29,50	410,09	58,17	26,87	13,27
	924,00	212,51	202,98	41,81	452,76	104,13	99,46	18,81
61–80	450,74	47,81	33,22	16,0	225,37	23,91	16,61	7,20
	59,62	14,40	13,22	1,84	29,21	7,06	6,48	0,83
81–100	67,36	6,39	6,31	2,56	33,68	3,20	3,16	1,15
	–	–	–	–	–	–	–	–
Усього	1 851,66	200,73	141,24	82,95	925,83	100,37	70,62	37,32
	1 211,88	275,94	293,06	61,09	593,82	135,22	143,67	27,49

Примітка. Чисельник – соснові деревостани; знаменник – робінієві.

У лісостанах Північного Степу України досліджуваними породами накопичено 4 118,55 тис. т надземної фітомаси, серед якої 2 276,58 – у соснових деревостанах та 1 841,97 тис. т – у робінієвих. Щодо розподілу надземної фітомаси за віковою структурою слід зазначити, що найбільшу фітомасу зосереджено, як для сосни, так і для робінії, у насадженнях віком 41–60 років, що зумовлено переважаннями площі насаджень цієї вікової групи серед інших. Загальна фітомаса насаджень віком 41–60 років становить: для робінії – 1 381,3 тис. т (74,9 %), для сосни – 1 019,78 (44,8 %) (рис. 1). Для сосни звичайної зазначений діапазон віку відповідає середньовіковим насадженням, тоді як для робінії несправжньої акації – перестиглим.

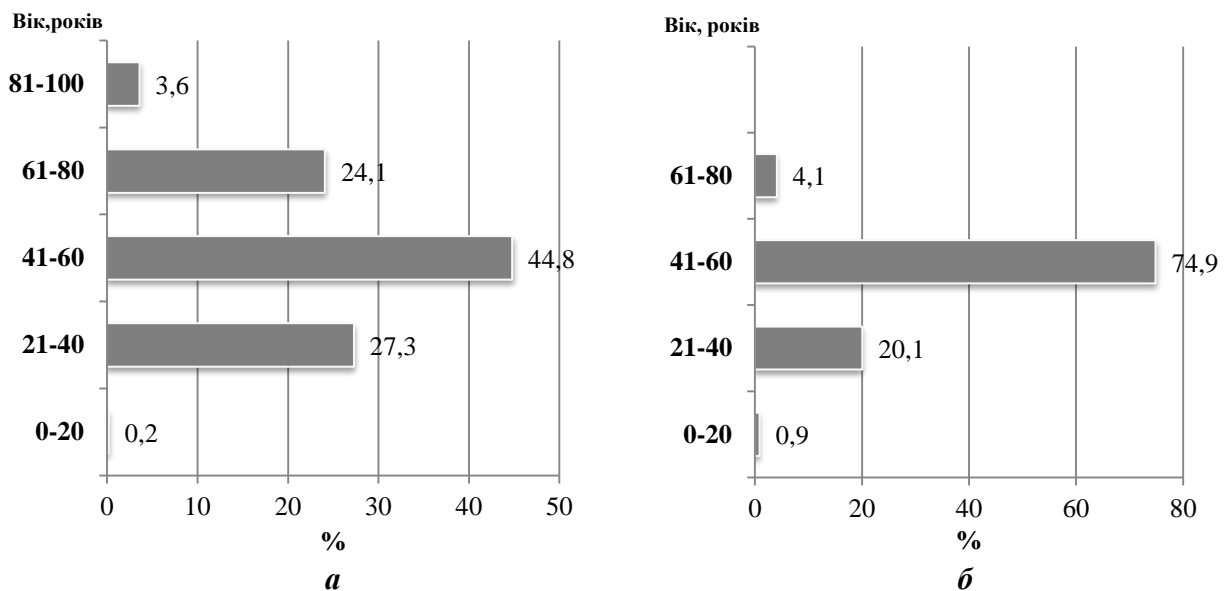


Рис. 1 – Відносний розподіл надземної фітомаси за групами віку для соснових (а) та робінієвих (б) деревостанів Північного Степу України

Загальний запас депонованого вуглецю в надземній фітомасі лісостанів, що досліджувалися, становить 1 134,14 тис. т для соснових деревостанів та 900,20 тис. т – для робінієвих. Розподіл накопиченого вуглецю за групами віку показав, що його основними резервуарами є деревостани сосни звичайної та робінії несправжньоїакації віком 41–60 років, які акумулюють 1 019,78 тис. т та 675,16 тис. т відповідно, що становить майже половину

всього запасу вуглецю, депонованого деревостанами. Мінімальну частку вуглецю резервують насадження наймолодшої групи (1–20 років), що пояснюється насамперед дуже незначною їхньою площею та сформованою надземною фітомасою деревостанів двох досліджуваних порід.

Для порівняльного аналізу запасу вуглецю в деревостанах різних вікових груп зазначений показник був розрахований на одиницю площі (один гектар). За групами віку соснові деревостани резервують вуглець таким чином: 1–20 років – 0,001 т·га⁻¹; 21–40 років – 0,056; 41–60 років – 0,054; 61–80 років – 0,067; 81–100 років – 0,052; робінієві: 1–20 років – 0,004; 21–40 років – 0,047; 41–60 років – 0,057; 61–80 років – 0,059 т. Отримані значення дали можливість встановити, що максимальне резервування вуглецю на одиницю площі відбувається у фітомасі соснових насаджень віком від 61 до 80 років, гектар робінієвих насаджень відповідного віку депонує вуглецю на 12 % менше. Зазначимо, що в найстаршій віковій групі соснових деревостанів (81–100 років) спостерігається зниження показника депонування вуглецю на 1 га у порівнянні з попередньою віковою групою на 22,4 %. У групі насаджень досліджуваних порід віком 1–21 рік переважну позицію займають робінієві деревостани, у яких показник резервування вуглецю на 1 га перевищує такий у соснових на 25 %.

Відносний розподіл депонованого вуглецю за компонентною структурою надземної фітомаси демонструє його найбільшу концентрацію у фракції деревини стовбурів: $\frac{4}{5}$ від загального запасу для соснових деревостанів та $\frac{2}{3}$ для робінієвих (рис. 2).

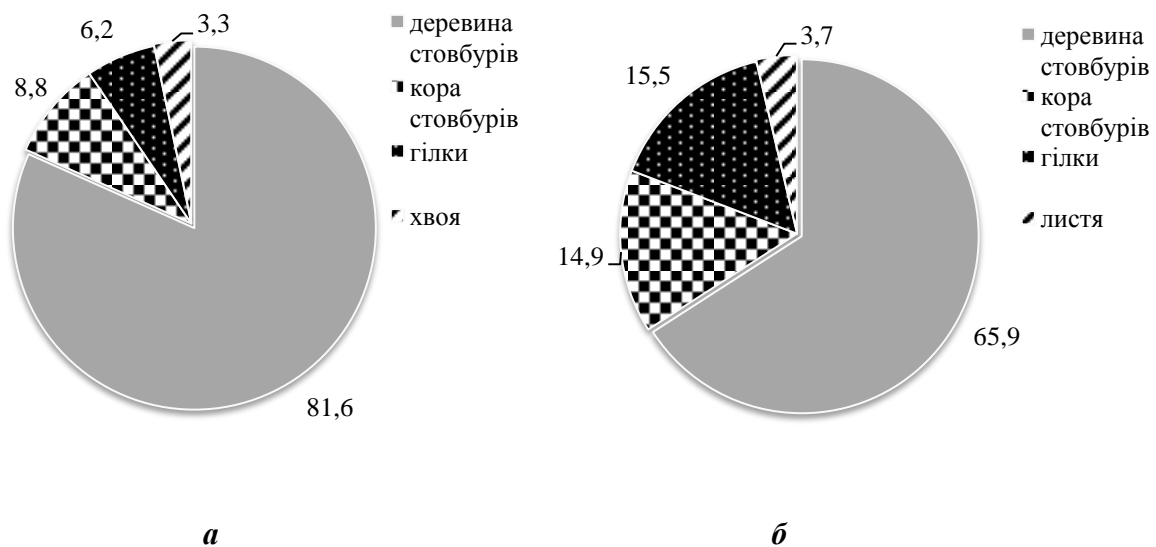


Рис. 2 – Відносний розподіл депонованого вуглецю за компонентами надземної фітомаси для соснових (а) та робінієвих (б) деревостанів Північного Степу України, %

Зазначимо, що в робінієвих деревостанах частки депонованого вуглецю у фракціях кори стовбурів та гілок у корі удвічі перевершують вміст вуглецю в зазначених фракціях надземної фітомаси соснових деревостанів. Отже, найбільша кількість органічного вуглецю акумулюється у фітомасі деревини стовбурів, а найменша – у хвої та листі (див. рис. 2).

Вміст енергії в надземній фітомасі соснових та робінієвих деревостанів залежно від віку та компонентної структури надземної фітомаси наведено в табл. 2. Енергетичний потенціал надземної фітомаси насаджень лісоутворювальних порід Північного Степу України дорівнює 72 744,98 ГДж. Деревостани сосни звичайної та робінії несправжньої акації резервують 40 556,84 ГДж та 32 188,14 відповідно.

Тренд збільшення вмісту енергії у надземній фітомасі на один гектар зі збільшенням віку насаджень встановлений тільки для робінії несправжньої акації: 1–20 років – 0,15 кДж·га⁻¹; 21–40 років – 1,69; 41–60 років – 2,02; 61–80 років – 2,12. Соснові деревостани мають такі значення (кДж·га⁻¹): 1–20 років – 0,05; 21–40 років – 2,01; 41–60 років – 1,94;

61–80 років – 2,42; 81–100 років – 1,88 кДж·га⁻¹. Максимальні значення вмісту енергії характерні для деревостанів як сосни, так і робінії віком 61–80 років. Зменшення енергетичного потенціалу в соснових насадженнях більш старшого віку може бути зумовлене всиханням або вилученням частки дерев.

Таблиця 2

Енергетичний потенціал деревостанів Північного Степу України

Групи за віком	Енергетичний потенціал, ГДж				Усього
	Деревина стовбурів	Кора стовбурів	Гілки у корі	Хвоя (листя)	
0–20	27,89	6,44	5,01	31,83	71,17
	32,54	5,72	82,25	83,08	203,59
21–40	9 151,34	533,18	852,52	529,61	11 066,65
	3 967,21	853,59	1 266,98	197,72	6 285,50
41–60	14 664,82	2 080,16	960,87	474,54	18 180,39
	16 190,70	3 723,69	3 556,69	673,18	24 144,26
61–80	8 059,23	855,02	593,97	257,47	9 765,69
	1 040,97	252,47	231,72	29,63	1 554,79
81–100	1 204,40	114,43	113,00	41,12	1 472,95
	–	–	–	–	–
Усього	33 107,68	3 589,23	2 525,37	1 334,56	40 556,84
	21 231,42	4 835,47	5 137,64	983,61	32 188,14

Примітка. Чисельник – соснові деревостани; знаменник – робініїві.

Висновки. Насадження головних лісоутворювальних порід Північного Степу України мають значний ресурсний потенціал надземної фітомаси – 4 118,55 тис. т, серед якої 2 276,58 тис. т – фітомаса соснових деревостанів та 1 841,97 тис. т – робініїєвих. Найбільша частка надземної фітомаси зосереджена, як для сосни, так і для робінії, в насадженнях віком 41–60 років, що зумовлено переважанням площі цієї вікової групи.

Сума пулів вуглецю демонструє, що його загальний запас у лісостанах головних лісоутворювальних порід становить 2 034,34 тис. т, серед яких 1 134,14 тис. т для соснових деревостанів та 900,20 для робініїєвих. Серед компонентної структури надземної фітомаси найбільш вагомий внесок у загальне депонування вуглецю має деревина стовбурів: для соснових деревостанів – 81,6 %; робініїєвих – 65,9 %. Максимальне резервування вуглецю на один гектар відбувається у фітомасі соснових насаджень віком від 61 до 80 років. Гектар робініїєвих насаджень відповідного віку депонує вуглецю на 12 % менше.

Енергетичний потенціал надземної фітомаси сосни звичайної та робінії несправжньої акації становить 40 556,84 ГДж та 32 188,14 ГДж відповідно. Тренд збільшення вмісту енергії в надземній фітомасі на один гектар зі збільшенням віку насадження встановлений тільки для робінії несправжньої акації.

Результати кількісного оцінювання компонентів надземної фітомаси, депонованого вуглецю та акумульованої енергії соснових та робініїєвих деревостанів Північного Степу України відбивають поточні параметри екологічного та енергетичного потенціалу досліджуваних насаджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 257 с.
2. Василюшин Р. Д. Оцінка вмісту енергії у фітомасі дерев головних лісотвірних порід Українських Карпат / Р. Д. Василюшин // Лісівництво. – 2013. – Т. 5, № 1–2. – С. 102–110.
3. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах / Ю. І. Якименко, Є. І. Сокол, В. Я. Жуйков та ін. – К.: Політехніка, 2001. – 114 с.
4. Кудря С. О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ, 2001. – 41 с.

5. Лакида П. І. Перспективи використання біомаси лісів України для біоенергії / П. І. Лакида, Р. Д. Василюшин // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – 2006. – Вип. 30. – С. 225–228.
6. Лакида П. І. Біоенергетический потенциал лесосырьевых ресурсов в Украине / П. И. Лакида, М. М. Петренко, Р. Д. Василюшин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2007. – № 1(37). – С. 180–185.
7. Макаровський Е. Л. Енергетичний потенціал нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії України / Е. Л. Макаровський // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2004. – Вип. 3. – С. 75–82.
8. Третяк П. Р. Біоенергетика лісового ландшафту: концепція, метризація та раціональне природокористування / П. Р. Третяк // Вісник Львівського університету. Сер. географічна. – 2014. – Вип. 45. – С. 11–19.
9. Шевцов А. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії в Україні у світлі новітніх європейських ініціатив [Електронний ресурс] / А. Шевцов, М. Земляний, Т. Рязова. – Режим доступу: <http://www.old.niss.gov.ua/>.
10. Carbon pools and flux of global forest ecosystems / R. K. Dixon, S. Brown, R. A. Houghton et al. // Science. – 1994. – Vol. 263. – P. 185–190.
11. Controls on annual forest carbon storage: lessons from the past and predictions for the future / C. M. Gough, C. S. Vogel, H. P. Schmid, P. S. Curtis // Bioscience. – 2008. – Vol. 58. – No. 7. – P. 609–622.
12. Lovinska V. The structure of Scots pine and Black locust forests in the Northern Steppe of Ukraine / V. Lovinska, S. Sytnyk // J. For. Sci. – 2016. – 62. – P. 329–336.
13. Matthews G. The Carbon Contents of Trees / G. Matthews // Forestry Commission. Tech. Paper 4. – Edinburgh, 1993. – 21 p.
14. Mitigating climate change by utilization of energy potential of Ukrainian forests / P. Lakyda, R. Vasylyshyn, S. Zibtsev, I. Lakyda // Tackling climate change: the contribution of forest scientific knowledge : International conference, 21–24 May, 2012. – Tours (France), 2012. – 312 p.
15. Shvidenko A. Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality / A. Shvidenko, S. Nilsson, M. Obersteiner // Wood Energy. – May, 2004. – P. 323–340.
16. State of Europe's Forests. The MCPFE Report on Sustainable Forest Management in Europe. United Nations Economic Commission for Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. – Liaison Unit Vienna, 2003. – 115 p.

Sytnyk S. A., Lovynska V. M.

ENERGY POTENTIAL OF THE MAIN FORESTFORMING STANDS WITHIN UKRAINIAN NORTHERN STEPPE

Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University

The results of research allowed to estimate the energy potential of pine (*Pinus sylvestris* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in stands located in Northern Steppe. The area of pine plantations in the investigated region is 21,472.2 ha (32.5 % of the area covered by forest vegetation) and black locust stands is 17,683.7 ha (26.9 % of the area covered by forest vegetation). The general values of aboveground phytomass components were evaluated in the context of the age structure of the plantations. Carbon sequestration by biomass components such as wood and bark of trunks, branches, foliage mass were calculated in different age groups. The main reservation of carbon pools for both studied species are the middle-aged stands of 41–60 years old. They accumulate 1,019.78 thousand ton for pine and 675.16 thousand ton for black locust. In the component structure of aboveground phytomass, the stem wood contribute dominantly to the total carbon sequestration; the share is 81.6 % for pine stands and 65.9 % for black locust stands. The main carbon pools were examined in the different components of aboveground phytomass of pine and black locust plantations.

The results of the evaluation of the energy content in the aboveground phytomass is given. The energy potential of the carbon accumulated in the pine stands phytomass reaches 40,556.84 GJ and it is 32,188.14 for black locust stands.

К е у w o r d s : Northern Steppe of Ukraine, pine stands, black locust stands, aboveground phytomass, age groups, carbon sequestration, forest energy potential.

Сытник С. А., Ловинская В. Н.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАСАЖДЕНИЙ ГЛАВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СЕВЕРНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

Оценен энергетический потенциал сосновых и робиниевых насаждений Северной Степи в структуре лесов Государственного агентства лесных ресурсов Украины. Площадь сосновых насаждений в регионе исследования составляет 21 472,9 га (32,5 % площади, покрытой лесной растительностью), робиниевых – 17 683,7 га (26,9 % площади, покрытой лесной растительностью). Определены значения компонентов надземной фитомассы в разрезе возрастной структуры насаждений. Произведен расчет количества углерода, депонированного компонентами фитомассы: древесиной и корой стволов, ветвями, листьями (хвоей). Основными резервуарами углерода выступают древостои обеих пород в возрасте 41–60 лет, которые аккумулируют 1 019,78 тыс. т (*Pinus*

syvestris L.) и 675,16 тыс. т (*Robinia pseudoacacia* L.). В компонентной структуре надземной фитомассы наибольший вклад в общее депонирование углерода вносит древесина стволов: для сосновых древостоев – 81,6 %, робиниевых – 65,9 %.

Оценены основные пулы углерода в различных компонентах надземной фитомассы сосновых и робиниевых насаждений. Энергетический потенциал углерода, аккумулированного в фитомассе сосновых древостоев, составляет 40 556,84 ГДж, робиниевых – 32 188,14 ГДж.

Ключевые слова: Северная Степь Украины, сосновые древостои, робиниевые древостои, наземная фитомасса, возрастные группы, депонирование углерода, энергетический потенциал лесных насаждений.

E-mail: myrt74@mail.ru, glub@ukr.net

Одержано редколлегією 21.11.2016