

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РОБІНІЄВИХ НАСАДЖЕНЬ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**С. А. Ситник***Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна*

За результатами досліджень оцінено енергетичний потенціал робінієвих насаджень Північного Степу, підпорядкованих Державному Агентству лісових ресурсів України. Під час проведення досліджень визначено питомі за загальні значення компонентів надземної фітомаси у розрізі вікової структури насадження. Здійснено розрахунок депонованого вуглецю компонентами фітомаси: деревиною й корою стовбурів, гілками, листям за віковими групами. Визначено вміст загальної енергії, що містить надземна фітомаса досліджуваних деревостанів та за компонентною та віковими структурами.

Ключові слова: Північний Степ України, робінієві деревостани, наземна фітомаса, депонований вуглець, енергетичний потенціал.

Вступ. В умовах сучасного суспільства зниження антропогенного пресу на природне середовище має бути одним із пріоритетів державної політики та управління. Частиною стратегії сталого розвитку України є забезпечення енергетичної безпеки і створення власної енергетичної бази, яка має використовувати регіональні альтернативні джерела енергії. Так, у країнах ЄС та США частка споживаної енергії, виробленої завдяки нетрадиційним відновлювальним джерелам, становить до 6 % від загального обсягу споживаної енергії (Adamenko et al., 2000).

Для України характерною є висока енергоємність виробництва і залежність економіки від значних обсягів традиційного органічного палива. Країна щорічно споживає близько 210 млн т умовного палива (у.п.) паливно-енергетичних ресурсів і належить до енергодефіцитних країн, бо покриває свої потреби в енергоспоживанні приблизно на 53 % й імпортує 75 % потрібного обсягу природного газу та 85 % сирої нафти і нафтопродуктів (Geletuha, Zheleznaia, & Marcenjuk, 1999).

Водночас Україна має значний потенціал нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії, використання якого в енергетичному балансі у 1995 р. становило 0,13 %, а у 2000 р. – вже близько 5,3 % (Kudrja, Yatsenko, & Dushyna, 2001).

Наведене вище зумовлює нагальну потребу здійснення планомірної державної політики пошуку та використання ресурсів відновлювальних джерел енергії, які можуть бути використані в енергетиці регіонального та місцевого рівнів. До таких джерел і належить біомаса лісових екосистем (Makarovskyi, 2004; Shydlovskiy, & Udod, 2000). Фітомаса дерев як відновлюване джерело енергії, процесами утворення і використання якого можна керувати, є одне з небагатьох екологічно чистих видів палива, внаслідок споживання якого практично не порушується газовий баланс атмосфери, що не пришвидшує глобальні кліматичні зміни (Yakumenko, 2001).

Базисом енергетичного потенціалу комплексу природних ресурсів ландшафту є приріст біомаси. Він є інтегральним показником, що характеризує потенціал акумуляції продуктів фотосинтезу та похідних речовин біологічного розкладу, біохімічної трансформації

у живій та відмерлій біомасі, а також у біокосній системі ґрунту (Tretjak, & Chernevuj, 2011).

Відомо, що найінтенсивніше біогеохімічні процеси відбуваються у лісових екосистемах, які мають найвищий потенціал продуктивності (Tretjak, 2014). Цей показник залежить від обсягу біомаси. Питомий обсяг біомаси сухої органічної речовини лісового біоценозу, за даними П.Р. Третяка, орієнтовно сягає 200-1000 т·га⁻¹, що на два-три порядки більше, ніж відповідні показники лучних екосистем та агроугідь. Саме фітомаса забезпечує первинну продукцію органічної речовини у лісових природних комплексах у розмірі 4-50 т·га⁻¹ щорічно, що містить 150-250 млн кДж·га⁻¹ нагромадженої енергії (Tretjak, 2014).

Для держави обсяги депонування вуглекислоти з'ясовують на підставі площі лісової рослинності та середньої річної продуктивності лісів. Станом на початок XXI ст., узагальнені дані офіційних джерел (Dovidnyk lisovogo fondu Ukrainy, 2011) мають для України такі значення: площа лісів – 6293,5 тис. га (15,7 % відносна площа лісів); загальний запас деревини – 1512,40 млн·м³; середній запас – 251 м³·га⁻¹, річний приріст деревини 34,9 млн·м³ (3,7-4,0 м³·га⁻¹) та для Європи площа лісів – 1004 млн га (47,0 % відносна площа лісів); загальний запас деревини – 108674 млн·м³; середній запас 110 м³·га⁻¹ (87 т·га⁻¹), річний приріст деревини 2287 млн·м³ (2,2 м³·га⁻¹). Отже, на території Європи середній запас деревини є достатньо низьким, а її річний приріст становить тільки 2,2 м³·га⁻¹. В Україні ситуація гірша, оскільки питомі запаси деревини та річний приріст є майже удвічі більшими (State of Europe's Forests, 2003).

Енергетичне використання біомаси дерев в Україні, з одного боку, сприятиме істотній економії власних викопних видів палива, зменшенню і здешевленню їх імпорту, зниженню обсягів шкідливих викидів, з іншого – підвищенню лісистості країни завдяки створенню нових лісів та енергетичних плантацій

Варто зазначити, що на відміну від інших джерел відновлюваної енергії, обсяги та енергетичний потенціал надземної фітомаси деревних рослин лісів залежать від низки факторів, зокрема від результатів лісогосподарської діяльності та варіюють за природно-кліматичними зонами (Geletuha, Zheleznaia, & Marcen-

juk, 1999; Kudrja, Yatsenko, & Dushyna, 2001).

Дослідження лісівничо-таксаційних параметрів та біологічної продуктивності головних лісоутворювальних порід дають змогу оцінювати депоновання CO₂ різними компонентами надземної фітомаси деревостанів, оцінювати енергетичну цінність лісів, при цьому створювати нормативно-інформаційну базу оцінки біопродуктивності лісових насаджень, яка може слугувати фундаментом для вирішення регіональних екологічних, енергетичних та соціальних проблем.

Мета дослідження – оцінити енергетичний потенціал робінієвих насаджень Північного Степу України на підставі визначення компонентів надземної фітомаси деревостанів та депонованого вуглецю.

Матеріали та методика дослідження. Під час дослідження біопродуктивності робінієвих деревостанів за компонентами фітомаси використовували методику П.І. Лакиди, описані в наукових роботах (Vasylyshyn, 2013; Lakyda, & Vasylyshyn, 2006; Lakyda, Petrenko, & Vasylyshyn, 2007; Lakyda et al., 2012; Shvidenko, Nilsson, & Obersteiner, 2004). Для визначення компонентів надземної фітомаси було закладено по 15 тимчасових пробних площ (ТПП) у лісах, підпорядкованих Державному Агентству лісових ресурсів у межах Північного Степу України. Для визначення площі робінієвих деревостанів за віковими групами та відповідних запасів стовбурової деревини використовували дані повидільної бази даних ВО "Укрдержліспроект" станом на 2011 р. Загальний обсяг вибірки з бази становив 4739 таксаційних виділів. Для розрахунку компонентів фітомаси надземної частини деревостанів використовували дані суцільного переліку стовбурів на ТПП та біометричних параметрів модельних дерев з використанням програмного забезпечення Perta (автор П.І. Лакида).

Для оцінювання вмісту вуглецю та акумульованої енергії у фітомасі використано усереднені дані з наукових літературних джерел, де зазначено, що середній коефіцієнт вмісту вуглецю в одній тонні деревної фітомаси (деревина, кора) у середньому становить 0,50, а у фракції листя – 0,45 (Matthews, 1993). Енергетичний потенціал однієї тонни вуглецю, який акумульований у фітомасі, становить 35,78 ГДж (1 ГДж = 10⁹ Дж) (Shvidenko, Nilsson, & Obersteiner, 2004).

Результати дослідження. У лісостанах Північного Степу, що підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів і входять до структури Дніпропетровського обласного управління лісового і мисливського господарства, деревостани *Robinia pseudoacacia* L. виконують меліоративну, ґрунтозахисну та середовищевірну функції, займають площу 17683,7 га (26,9 % від площі вкритих лісовою рослинністю) із загальним запасом стовбурової деревини 2624,81 тис. м³.

Аналіз результатів натурних досліджень з використанням програмного забезпечення та застосуванням спеціального алгоритму дав змогу здійснити розрахунок компонентів фітомаси надземної частини робінієвих насаджень, оцінити обсяги депонованого у ній вуглецю та акумульованої енергії (табл. 1-3).

Згідно з результатами досліджень визначено, що вікова структура досліджуваної лісоутворюваної породи є далекою від оптимальної. Значне переважання перестиглих деревостанів (71,5 % від загальної площі робінієвих насаджень) свідчить про їх високий ресурсний потенціал сьогодні й на недалеку перспективу, що в умовах енергетичної кризи є істотним позитивом, але його інтенсивне використання за умови дуже незначної наявної площі, зайнятої деревостанами віком до 20 років (7,5 % від площі робінієвих деревостанів) може призвести до порушення принципу сталості лісокористування.

У досліджуваних деревостанів з віком спостережено значне збільшення значень компонентів фітомаси надземної частини на 1 га. Максимальну відмінність зафіксовано для фітомаси деревини стовбурів робінії: у діапазоні віку 61-80 років робінія продукує до 81,46 т·га⁻¹ деревини стовбурів. Для фракції листя характерною є зворотна тенденція: з віком знижується значення фітомаси листя, але незначно (див. табл. 1).

Після визначення значень фітомаси фракцій надземної частини робінієвих насаджень на 1 га, подальшим етапом досліджень став розрахунок значень загальної фітомаси за компонентним складом та віковими групами. Результати розрахунків екологічного потенціалу робінієвих насаджень за чисельними параметрами надземної фітомаси наведено у табл. 2.

Табл. 1. Компоненти надземної фітомаси робінієвих деревостанів Північного Степу України за віковими групами

Група за віком, роки	Площа, га	Запас стовбурової деревини, тис. м ³	Компоненти надземної фітомаси, т·га ⁻¹			
			деревина стовбурів	кора стовбурів	гілки у корі	листя
0-20	1329,8	30,18	1,4	0,24	3,42	3,88
21-40	3710,2	425,52	61,02	13,13	19,49	3,31
41-60	11911,8	2043,04	77,57	17,84	17,04	3,51
61-80	731,9	126,07	81,46	19,68	18,06	2,52

Табл. 2. Загальна фітомаса та депонований вуглець робінієвих деревостанів Північного Степу України

Групи за віком, роки	Компоненти надземної фітомаси частини деревостанів, тис. т (абсолютно сухому стані)				Разом	Депонований вуглець, тис. т				Разом
	деревина стовбурів	кора стовбурів	гілки у корі	листя		деревина стовбурів	кора стовбурів	гілки у корі	листя	
0-20	1,86	0,32	4,55	5,16	11,89	0,91	0,16	2,30	2,32	5,69
21-40	226,40	48,71	72,31	12,28	359,7	110,94	23,87	35,43	5,53	175,77
41-60	924,00	212,51	202,98	41,81	1381,3	452,76	104,13	99,46	18,81	675,16
61-80	59,62	14,40	13,22	1,84	89,08	29,21	7,06	6,48	0,83	43,58
Всього	1211,88	275,94	293,06	61,09	1841,97	593,82	135,22	143,67	27,49	900,2

Аналіз даних, наведених у табл. 2, свідчить про пропорційність фактичної фітомаси робінієвих деревостанів щодо площі, зайнятої наявними віковими групами. Всього досліджуваними робінієвими деревостанами Північного Степу України нагромаджено 1841,97 тис. т надземної фітомаси, що депонує до 900,20 тис. т. вуглецю. Загальна фітомаса робінієвих насаджень за віковими групами розподілена так: 0-20 років – 11,89 тис. т; 21-40 років – 359,70 тис. т; 41-60 років – 1381,3 тис. т; 61-80 років – 89,08 тис. т. Відносний розподіл фітомаси за віком демонструє її найбільше зосередження у робінії віком 41-60 років (75 % від загальної надземної фітомаси) (рис).

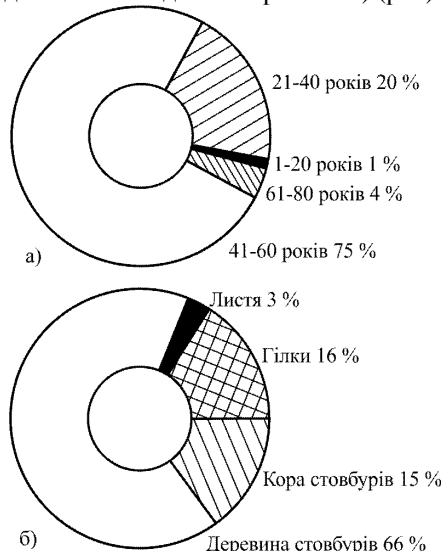


Рис. Відносний розподіл надземної фітомаси за групами віку (а) та депонованого вуглецю компонентами надземної фітомаси (б) робінієвих деревостанів Північного Степу України

Відносний розподіл депонованого у компонентах надземної фітомаси вуглецю наведено на рис. Щодо компонентної структури, визначено, що дві третини вуглецю депоновано деревиною стовбурів. Кора стовбурів та гілки утримують майже однакові частки (15 та 16 %) і до 3 % депонованого вуглецю нагромаджено фракцією листя.

Табл. 3. Енергетичний потенціал робінієвих деревостанів Північного Степу України

Група за віком, роки	Вміст енергії, ГДж				Всього
	деревина стовбурів	кора стовбурів	гілки у корі	листя	
0-20	32,54	5,72	82,25	83,08	203,59
21-40	3967,21	853,59	1266,98	197,72	6285,5
41-60	16190,70	3723,69	3556,69	673,18	24144,26
61-80	1040,97	252,47	231,72	29,63	1554,79
Всього	21231,42	4835,47	5137,64	983,61	32188,14

Аналізуючи дані табл. 3, варто зазначити, що енергетичний потенціал робінієвих насаджень Північного Степу України становить 32188,14 ГДж. Щодо компонентної структури надземної фітомаси, зазначимо, що найвищий енергетичний потенціал має деревина стовбурів. Питома вага акумульованої енергії припадає на робінієві деревостани віком 41-60 років, що є перестиглою віковою групою. Переважання перестиглих робінієвих насаджень також може призвести і до втрати якості деревини, а з часом і її енергетичного потенціалу. У насадженнях м'яколистях порід, до яких нале-

жить робінія псевдоакація, така втрата може бути відчутною, оскільки її деревина недовговічна, швидко пошкоджується фітопатогенами та ентомошкідниками, переходить у категорію сухоостою і відпаду з подальшим природним окисненням і вивільненням енергії.

Висновки:

1. Робінієві деревостани мають значний ресурсний потенціал сьогодні й на недалеку перспективу. З віком спостережено істотне збільшення значень компонентів фітомаси надземної частини на 1 га. Максимальну фітомасу зафіксовано для деревини стовбурів робінії: у діапазоні віком 61-80 років робінія нагромаджує до 81,46 т·га⁻¹ деревини стовбурів.
2. Робінієві насадження Північного Степу України генерують до 1841,97 тис. т надземної фітомаси, що дає змогу депонувати до 900,20 тис. т. вуглецю. Переважаюче зосередження надземної фітомаси зафіксоване для деревостанів робінії віком 41-60 років.
3. Енергетичний потенціал робінієвих насаджень Північного Степу України становить 32188,14 ГДж. Найвищий енергетичний потенціал має деревина стовбурів – 21231,42 ГДж. Щодо вікової структури, найбільше акумульовано енергії (24144,26 ГДж) робінієвими деревостанами віком 41-60 років, що є перестиглою віковою групою.
4. Результати кількісного оцінювання обсягів компонентів надземної фітомаси, депонованого вуглецю та акумульованої енергії робінієвих деревостанів Північного Степу України відображують поточні параметри їх екологічного та енергетичного потенціалу.

Перелік використаних джерел

Adamenko, O., Vysochanskyj, V., Lotko, V., & Myhajliv, M. (2000). *Alternatyvni palyva ta inshi netradycijni dzherela energii*. Ivano-Frankivsk: Polumja.

Dovidnyk lisovogo fondu Ukrainy (2011). *Za materialamy obliku lisiv stanom na 01.01 2011 r.* Irpin.

Geletuha, G. G. Zheleznaia, T. A., & Marcenjuk, Z. A. (1999). *Konceptcija razvitija bioenergetiki v Ukraine. Promyshlennaja teplo-tehnika*, 21(6), pp. 94–102.

Kudrja, S. O., Yatsenko, L. V., & Dushyna, G. P. (2001). *Atlas energetychnogo potentsialu vidnovljувanyh ta netradycijnyh dzherel energii Ukrainy*. Kyiv: In-t elektrodynamiky NANU.

Lakida, P. I., Petrenko, M. M., & Vasylyshyn, R. D. (2007). *Bioenergeticheskiy potencial lesosyrevykh resursov v Ukraine. Lesnaja taksacija i lesoustrojstvo*, 1(37), pp. 180–185.

Lakyda, P. I., & Vasylyshyn, R. D. (2006). *Perspektyvy vykorystannja biomasy lisiv Ukrainy dlja bioenergii. Lisove gospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist*, 30, pp. 225–228.

Lakyda, P., Vasylyshyn, R., Zibtsev, S., & Lakyda, I. (2012). *Mitigating climate change by utilization of energy potential of Ukrainian forests. Tackling climate change: the contribution of forest scientific knowledge. International conference*, 21–24 May, 2012. Tours (France).

Makarovskyi, E. L. (2004). *Enerhetychnyi potentsial netradycijnykh i vidnovliuvalnykh dzherel enerhii Ukrainy. Integrivannye tehnologii i jenergosberezhenie*, 3, pp. 75–82.

Matthews, G. (1993). *The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission, Tech. Paper 4*. Edinburgh.

Shvidenko, A., Nilsson, S., & Obersteiner, M. (2004). *Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality* (pp. 323–340). In *Wood Energy in the Industrialized World. Proceedings of the International BIOCLIMECO Workshop*.

Shydlovskiy, A. K., & Udod, Ye. I. (Eds.). (2000). *Palyvno-energetychnyj kompleks Ukrainy*. Kyiv: VEK, p. 340.

- State of Europe's Forests. (2003). *The MCPFE Report on Sustainable Forest Management in Europe*. United Nations Economic Commission for Europe. Liaison Unit Vienna: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.
- Tretjak, P. R. (2014). Bioenergetyka lisovogo landshaftu: koncepcija, metryzacija ta racionalne pryrodokorystuvannja. *Visnyk Lvivskogo universytetu, 45(series geography)*, pp. 11–19.
- Tretjak, P. R., & Chernevyy, Yu. I. (2011). Pryryst derevostaniv starshogo viku: ekologichnyj aspekt. *Dop. NAN Ukrainy*, 6, pp. 203–208.
- Vasylyshyn, R. D. (2013). Ocinka vmistu energii u fitomasi derev golovnyh lisotvirnyh porid Ukrainykyh Karpat. *Lisivnyctvo*, 5(1–2), pp. 102–110.
- Yakymenko, Yu. I., Sokol, Ye. I., Zhujkov, V. Ya., Petergerja, Yu. S., & Ivanin, O. L. (2001). *Vidnovljuvalni dzhherela energii u lokalnyh objekтах*. Kyiv: Politehnika.

С. А. Ситник

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОБИНИЕВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ

По результатам исследований оценен энергетический потенциал робиниевых насаждений Северной Степи, находящихся в структуре Государственного Агентства лесных ресурсов Украины. Определены удельные и общие значения компонентов надземной фитомассы в разрезе возрастной структуры насаждения. Произведен расчет депонированного углерода компонентами фитомассы: древесиной и корой стволов, вервями, листьями разными возрастными группами. Определено содержание общей энергии надземной фитомассы исследуемых древостоев по отношению к компонентной и возрастной структурам.

Ключевые слова: Северная Степь Украины, робиниевые древостои, наземная фитомасса, депонированный углерод, энергетический потенциал.

S. A. Sytnyk

ENERGY POTENTIAL OF THE BLACK LOCUST STANDS WITHIN UKRAINE'S NORTH STEPPE

Ensuring energy security and creating own energy supply using regional alternative energy sources is an important part of the strategy of sustainable development of Ukraine. Tree biomass energy as one of the few environmentally friendly types of fuel and renewable energy sources is used in Ukraine to contribute substantial savings of local fossil fuels. The research aims at assessing the energy potential of black locust plantations of the North Steppe of Ukraine on the basis of the determination of the components of aboveground phytomass of the tree stands and the deposited carbon. To investigate components of aboveground plant biomass we laid temporary plots in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands within Northern Steppe of Ukraine. To evaluate the carbon content and the accumulated energy in the phytomass we used averaged scientific data, indicating that the average ratio of carbon to one ton of woody biomass (wood, bark) is 0.50, and for the fraction of the leaves – 0.45. Consequently, we have revealed that energy potential of black locust stands of the North Steppe of Ukraine is 32188.14 GJ. Wood trunks are of the highest energy potential. We also determined specific and general values of the components of aboveground phytomass in the context of the age structure of the plantations. The proportion of stored energy is the highest in black locust stands ranging from 41 to 60 years old, which is overmature age group. Furthermore, we made calculation of the deposited carbon components of biomass of wood and bark of trunks, branches, foliage mass of different age groups. Finally, we determined the content of the total energy of aboveground phytomass of the studied forest stands in relation to the component and age structures. To sum up we should note that *Robinia pseudoacacia* L. stands in the North Steppe of Ukraine perform soil conservation and protective functions, having significant resource potential today and in the near future. Their energy potential is 32,188.14 GJ. The results of the quantitative evaluation of the volume of aboveground biomass components of deposited carbon and accumulated energy reflect the current options of environmental and energy potential.

Keywords: Northern Steppe of Ukraine; black locust stands; aboveground phytomass; depositing carbon; energy potential.

Інформація про автора:

С. А. Ситник, канд. біол. наук, доцент, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна.
E-mail: myrt74@mail.ru