

## НАКОПИЧЕНА ЕНЕРГІЯ В МОРТМАСІ БЕРЕЗОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЧЕРНІГІВЩИНИ

**Я. В. КОВБАСА**, кандидат сільськогосподарських наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: yarik.kovbasa@nubip.edu.ua*

**Анотація:** *За результатами досліджень оцінено запас енергії в мортмасі березових насаджень Чернігівської області. Опрацьовано наявний досвід оцінювання обсягів органічної речовини відмерлих дерев або їх частин у лісових біогеоценозах. Висвітлено методичні особливості дослідження мортмаси в березових насадженнях. Проведено статистичний та графічний аналіз мортмаси залежно від основних таксаційних показників деревостанів. Розроблено математичні моделі для оцінки запасу мортмаси в абсолютно сухому стані на 1 га березових насаджень. Визначено вміст загальної енергії, що містить надземна мортмаса сухою, деревної ламані та опаду грубих гілок. Розроблено нормативно-довідкові матеріали для оцінювання вмісту енергії в компонентах мортмаси березових насаджень. Встановлено динаміку накопичення вмісту енергії в компонентах мортмаси березняків. Встановлено загальний вміст енергії накопиченої в мортмасі березових насаджень Чернігівщини, який становить 17,5 ПДж.*

**Ключові слова:** *сухостій, деревна ламань, гілки, лісова підстилка, середній діаметр, середня висота, базисна щільність, класи деструкції*

**Актуальність.** Швидкий індустріальний розвиток, зростання кількості населення на планеті та зменшення обсягів викопних видів енергоресурсів за останні століття призвели до нестабільного забезпечення енергетичними ресурсами більшості країн світу. За таких умов Європейська Комісія планує за наступні півстоліття збільшити частку відновлювальної енергії до 30 % [1]. На сьогодні в Україні існує декілька джерел одержання енергетичної лісосировини. Насамперед, це паливні дрова, порубові залишки та невивезена з лісосік пошкоджена деревина [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед різних типів екосистем ліси є одними з найбільш високоенергетичних та стабільних, їм властивий надземний тип акумуляції органічної речовини. Найбільші запаси енергії лісів зосереджені в деревині, однак у формуванні енергопотоків у системі

Ковбаса Я. В.

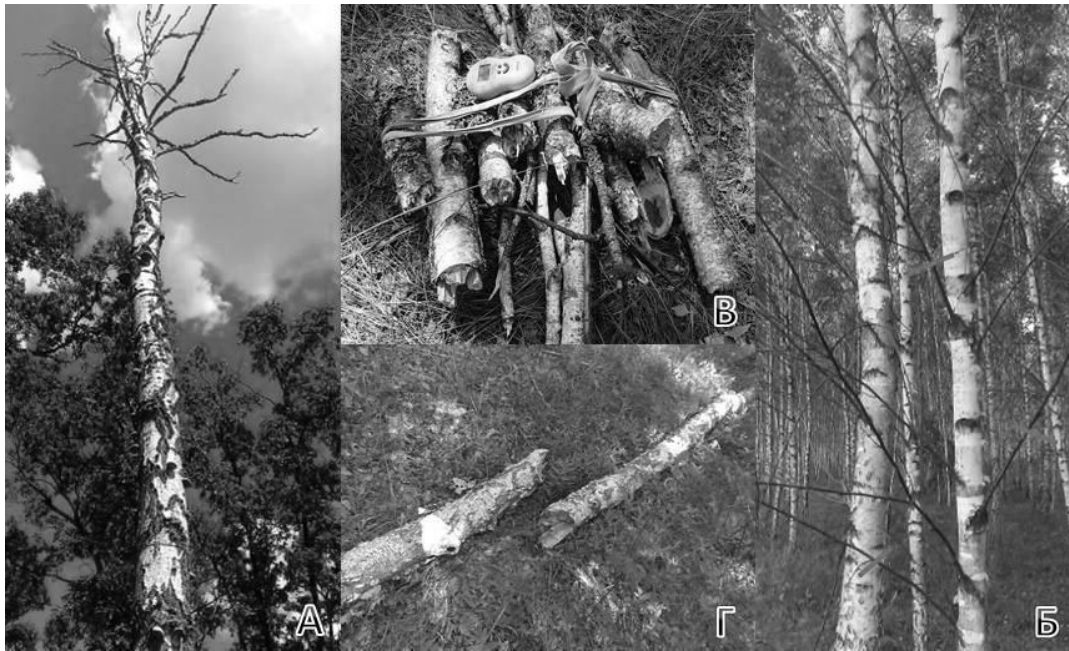
«рослинистість-грунт» ключову роль відіграє підстилка, спосіб накопичення і швидкість розкладання якої характеризують функціонування екосистеми [6]. Швидкість її деструкції характеризує особливості кругообігу речовин в екосистемі [6].

Існує два основні напрями біоенергетики: енергія екосистеми та енергія, яка зосереджена в деревині та може бути використана в якості палива. В наших дослідженнях мортмасу підстилки відносимо до напрямку «енергія екосистеми», а мортмасу сухоостою, деревної ламані та опаді грубих гілок до компонентів, які можуть бути використані людиною в якості додаткового джерела енергії.

Встановлення обсягів енергії акумульованої в лісовій екосистемі можливе перш за все завдяки оцінюванню фітомаси та мортмаси насаджень. Відомо, що перші спроби таких досліджень виконували простою екстраполяцією даних оцінювання фітомаси на окремих пробних площах на значні лісові регіони із значним завищенням результатів [3]. Найбільш апробованим на сучасному етапі вивчення особливостей накопичення живої органічної речовини в лісових системах вважаються методи пов'язані з оцінюванням відповідних показників через регресійне моделювання компонентів фракцій в абсолютних величинах або з застосуванням перевідних коефіцієнтів [3].

**Мета дослідження** – встановити кількісні показники накопиченої енергії в мортмасі березових насаджень.

**Матеріал та методи досліджень.** Для визначення компонентів надземної мортмаси було закладено 30 тимчасових пробних площ (ТПП) в модальних березняках Чернігівщини за методикою П. І. Лакиди [3] та А. М. Білоуса [2, 7]. На кожній пробній площі здійснена оцінка класичних таксаційних показників насадження [8], також встановлені запаси, структура фітомаси і мортмаси. Для розрахунку компонентів мортмаси (рис. 1) використовували дані суцільного переліку стовбурів на ТПП та біометричних параметрів модельних дерев з використанням програмного забезпечення *PERTA*. Для визначення площі березових насаджень Чернігівської області використовували дані повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект» (2011 р.).



**Рис. 1. Компоненти мортмаси: А) сухостійне дерево; Б) сухі гілки живих дерев; В) опад грубих гілок; Г) деревна ламань.**

Вміст енергії в мортмасі сухостійних дерев визначали за першим та другим класами деструкції. Наявність енергії сухостійних дерев першого та другого класу деструкції зумовлено достатньо високою міцністю та щільністю деревини берези повислої, що дозволяє використовувати таку деревину для отримання енергії, проте потрібно пам'ятати про високу швидкість деструкції деревини берези повислої та різке зменшення її щільності.

Дослідження вмісту енергії в мортмасі III–V класів деструкції є недоцільним, оскільки її фізичний стан не задовольняє умови виробництва енергетичних ресурсів. Слід зазначити, що горіння – це ізотермічний процес, який супроводжується виділенням тепла. Тобто для того, щоб деревина загорілась, потрібно її нагріти до температури займання. Вирішальне значення для процесу горіння має щільність матеріалу. Легка, пориста деревина вільхи або тополі запалюється швидше, ніж щільна дуба звичайного. Мокра деревина важче запалюється, так як для займання необхідно витратити додаткову кількість теплоти на випаровування води. Тому деревина з III по V клас деструкції має низький рівень вмісту енергії і її величину неможливо виразити кількісно.

Ковбаса Я. В.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для розроблення нормативно-довідкових матеріалів для оцінювання вмісту енергії у компонентах мортмаси березових деревостанів регіону досліджень використано результати оцінювання вмісту вуглецю в абсолютно сухій мортмасі та аналітичні дані про вміст енергії в одиниці ваги вуглецю [7]. Так, згідно з науковими даними [4, 9] в 1 тоні депонованого вуглецю у фітомасі дерев міститься 35,76 ГДж (1ГДж=10<sup>9</sup> Дж).

У результаті отримано нормативно-довідкові таблиці, у яких вказано вміст накопиченої енергії у надземній мортмасі сухостійних дерев, сухих гілок живих дерев, мортмасі деревної ламані та опаді грубих гілок березових деревостанів залежно від їх середнього діаметра ( $D$ ), середньої висоти ( $H$ ) та відносної повноти ( $P$ ) (1-4):

$$E^c = 0,286 \cdot D^{0,765} \cdot H^{1,086} \cdot P^{1,074} \quad (1)$$

$$E^{cg} = 2,0 \cdot D^{-0,559} \cdot H^{-0,589} \cdot P^{-0,326} \quad (2)$$

$$E^{dl} = 0,143 \cdot D^{2,536} \cdot H^{-0,562} \cdot P^{0,586} \quad (3)$$

$$E^{gg} = 0,052 \cdot D^{1,207} \cdot H^{-0,902} \quad (4)$$

де  $E^c$  – вміст енергії в мортмасі сухостійних дерев, ГДж·га<sup>-1</sup>;  $E^{cg}$  – вміст енергії в мортмасі сухих гілок живих дерев, ГДж·га<sup>-1</sup>;  $E^{dl}$  – вміст енергії в мортмасі деревної ламані, ГДж·га<sup>-1</sup>;  $E^{gg}$  – вміст енергії в мортмасі опаді грубих гілок, ГДж·га<sup>-1</sup>.

Такі нормативи призначено для використання з метою оцінювання вмісту енергії в компонентах мортмаси модальних деревостанів берези повислої з відносною повнотою (0,6–0,9), середня висота яких знаходиться в межах від 6 до 28 м, а середній діаметр – від 4 до 34 см включно (табл. 1).

Ковбаса Я. В.

**1. Вміст енергії у мортмасі сухостійних дерев березових насаджень,**ГДж·га<sup>-1</sup>

Середній діаметр, см	Середня висота, м											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
<i>Відносна повнота 0,7</i>												
4	3,9	5,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	5,4	7,3	9,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	–	9,2	12	14	17	–	–	–	–	–	–	–
10	–	–	14	17	20	23	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	19	23	27	30	–	–	–	–	–
14	–	–	–	–	26	30	34	38	–	–	–	–
16	–	–	–	–	–	33	38	42	47	–	–	–
18	–	–	–	–	–	36	41	46	51	56	–	–
20	–	–	–	–	–	–	45	50	55	61	66	–
22	–	–	–	–	–	–	–	54	60	65	71	77
24	–	–	–	–	–	–	–	–	64	70	76	83
26	–	–	–	–	–	–	–	–	68	74	81	88
28	–	–	–	–	–	–	–	–	–	79	86	93
30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	83	91	98

Особливістю вмісту енергії у сухостійних деревах берези повислої є її збільшення разом із аналогічною тенденцією таксаційних показників деревостану, а вміст енергії, що міститься у сухих гілках живих дерев зменшується із збільшенням середньої висоти, середнього діаметра та відносної повноти (табл. 2).

**2. Вміст енергії у мортмасі сухих гілок живих дерев березняків, ГДж·га<sup>-1</sup>**

Середній діаметр, см	Середня висота, м											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
<i>Відносна повнота 0,7</i>												
4	17,6	17,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	16,3	16,5	16,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	–	15,6	15,7	15,9	16,0	–	–	–	–	–	–	–
10	–	–	15,1	15,2	15,3	15,4	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	14,7	14,8	14,9	15,0	–	–	–	–	–
14	–	–	–	–	14,4	14,5	14,5	14,6	–	–	–	–
16	–	–	–	–	–	14,1	14,2	14,2	14,3	–	–	–
18	–	–	–	–	–	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	–	–
20	–	–	–	–	–	–	13,6	13,6	13,7	13,7	13,8	–
22	–	–	–	–	–	–	–	13,4	13,4	13,5	13,6	–
24	–	–	–	–	–	–	–	–	13,2	13,3	13,3	–
26	–	–	–	–	–	–	–	–	13,0	13,1	13,1	–

Ковбаса Я. В.

Вміст енергії в сухих гілках модальних березняків зменшується від 17,6 ГДж·га<sup>-1</sup> до 12,5 ГДж·га<sup>-1</sup>.

Дослідження вмісту енергії в деревній ламані здійснювали на основі перших двох класів деструкції, частка яких становила 67 % від загальної кількості мортмаси деревної ламані (табл. 3).

### 3. Вміст енергії у мортмасі деревної ламані насаджень берези, ГДж·га<sup>-1</sup>

Середній діаметр, см	Середня висота, м										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
	<i>Відносна повнота 0,7</i>										
4	1,1	0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	3,0	2,6	2,3	–	–	–	–	–	–	–	–
8	–	5,3	4,7	4,2	3,9	–	–	–	–	–	–
10	–	–	8,2	7,4	6,8	6,3	–	–	–	–	–
12	–	–	–	12	11	10	9,4	–	–	–	–
14	–	–	–	–	16	15	14	13	–	–	–
16	–	–	–	–	–	21	20	18	17	–	–
18	–	–	–	–	–	28	26	25	23	22	–
20	–	–	–	–	–	–	34	32	31	29	28
22	–	–	–	–	–	–	–	41	39	37	36
24	–	–	–	–	–	–	–	–	49	46	44
26	–	–	–	–	–	–	–	–	60	57	54

У фізичних показниках енергія в надземній мортмасі деревної ламані берези повислої змінюється від 1,1 ГДж·га<sup>-1</sup> у молодняках до 103 ГДж·га<sup>-1</sup> у стиглих насадженнях. Фрагмент нормативно-довідкової таблиці для оцінювання мортмаси грубих гілок наведено в табл. 4.

Вміст енергії в мортмасі грубих гілок розраховано аналогічно алгоритму обрахунку вмісту енергії в деревній ламані, лише частка цього компонента для I та II класу деструкції становить 56 % від загальної мортмаси за п'ятьма класами деструкції. Вміст енергії в мортмасі грубих гілок змінюється від 0,5 ГДж·га<sup>-1</sup> в молодняках до 26 ГДж·га<sup>-1</sup> в стиглих березових насадженнях.

4. Вміст енергії у мортмасі грубих гілок насаджень березняків, ГДж·га<sup>-1</sup>

Середній діаметр, см	Середня висота, м										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
<i>Відносна повнота 0,7</i>											
4	0,5	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	0,8	1,1	1,3	–	–	–	–	–	–	–	–
8	–	1,5	1,8	2,1	2,5	–	–	–	–	–	–
10	–	–	2,4	2,8	3,2	3,6	–	–	–	–	–
12	–	–	–	3,5	4,0	4,5	5,0	–	–	–	–
14	–	–	–	–	4,8	5,5	6,1	6,7	–	–	–
16	–	–	–	–	–	6,4	7,1	7,8	8,6	–	–
18	–	–	–	–	–	7,4	8,2	9,0	9,9	11	–
20	–	–	–	–	–	–	9,3	10	11	12	13
22	–	–	–	–	–	–	–	12	13	14	15
24	–	–	–	–	–	–	–	–	14	15	16
26	–	–	–	–	–	–	–	–	15	17	18

Дані рис. 2 дозволяють визначити частку енергії в компонентах мортмаси із зростанням середньої висоти. Так, вміст енергії в мортмасі сухостійних дерев може становити 20–40 %, в деревній ламані – 10–50 %, вміст енергії в опаді грубих гілок становить 3–10 % та в сухих гілках живих дерев від 10–70 %.

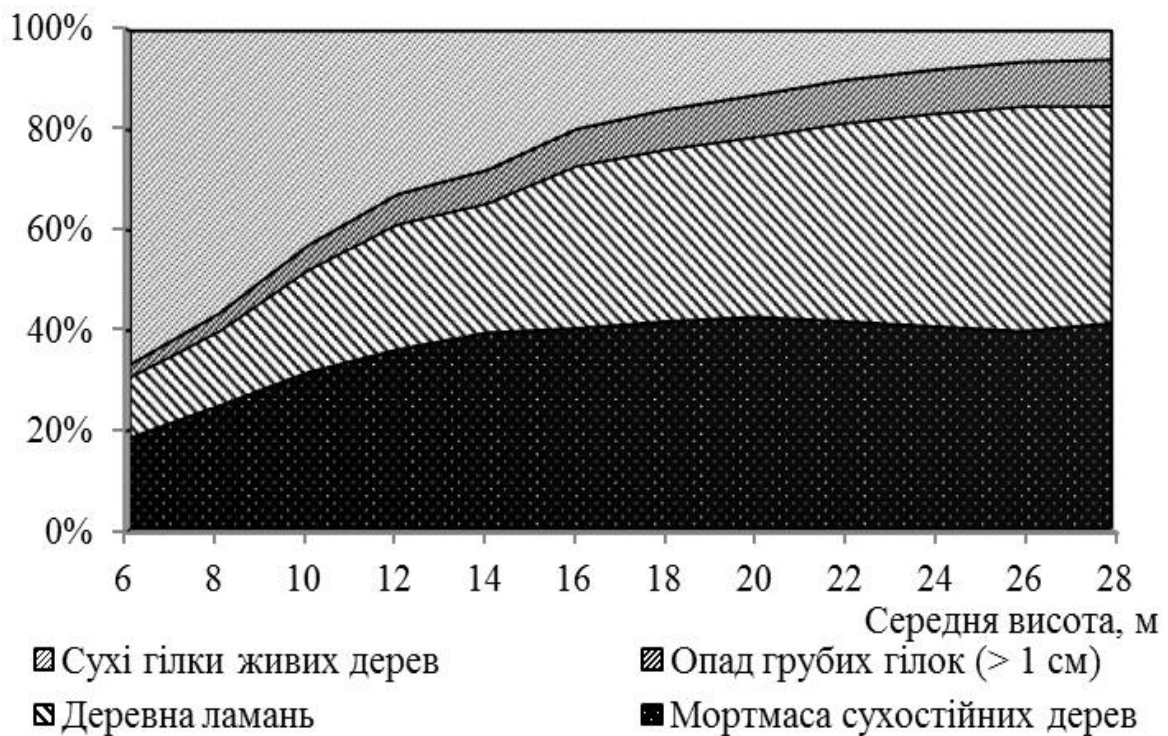


Рис. 2. Динаміка накопичення вмісту енергії в компонентах мортмаси, %

Ковбаса Я. В.

З використанням інформації повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2011 року та створених математичних моделей здійснено загальне оцінювання мортмаси березняків, депонованого вуглецю та накопиченої енергії мортмасі березових насаджень Чернігівської області (табл. 5).

**Табл. 5. Загальна мортмаса березових лісів Чернігівщини та накопичена енергія**

Показник	Загальна мортмаса регіону досліджень, тис. т	Вміст енергії, ПДж
Сухостій, у тому числі:	260,0	4,65
сухостійні дерева	211,0	3,78
сухі гілки живих дерев	49,0	0,87
Деревна ламань	273,0	4,88
Опад грубих гілок	85,0	1,51
Підстилка, у тому числі:	451,0	6,51
опад листя	336,0	4,45
опад дрібних гілок	115,0	2,06

Відповідно до отриманих даних найбільша частка екосистемної енергії мортмаси березових насаджень зосереджена в підстилці (37 %), а найменша частка енергії мортмаси належить мортмасі сухих гілок живих дерев (9 %). У мортмасі підстилки накопичено 6,51 ПДж енергії, а в мортмасі сухих гілок живих дерев зосереджено всього 0,87 ПДж.

**Висновки.** За результатом досліджень встановлено вміст енергії в мортмасі сухостійних дерев березових насаджень, яка змінюється від 3,9 ГДж·га<sup>-1</sup> до 108 ГДж·га<sup>-1</sup>, в сухих гілках від 17,6 ГДж·га<sup>-1</sup> до 12,5 ГДж·га<sup>-1</sup>. Вміст енергії в деревній ламані може змінюватись від 1,1 ГДж·га<sup>-1</sup> до 103 ГДж·га<sup>-1</sup>, в мортмасі грубих гілок змінюється від 0,5 ГДж·га<sup>-1</sup> в молодняках до 26 ГДж·га<sup>-1</sup> в стиглих березових насадженнях. Таким чином, одержані результати сприятимуть практичній реалізації розвитку біоенергетики в Україні, як одного з найперспективніших напрямів вирішення енергетичних проблем, а розроблені нормативно-довідкові матеріали можуть бути



Ковбаса Я. В.

використані під час здійснення наукового, екологічного, лісівничого обґрунтування розширеного використання лісоенергетичних ресурсів насаджень берези повислої в Чернігівській області.

### Список використаних джерел

1. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: підручник / Адаменко О., Височанський В., Лютко В., Михайлів М. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. 270 с.
2. Білоус А. М. Методика дослідження мортмаси лісів. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6. №3-4. С. 134–140.
3. Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся: монографія : монографія / П. І. Лакида та ін.; Корсунь-Шевченківський, ФОП Гаврищенко В. М., 2012. 454 с.
4. Васишин Р. Д Біофізичні основи лісової біоенергетики. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.4. С. 29–34.
5. Гелетуха Г. Г., Железная Т. А., Марценюк З. А. Концепция развития биоэнергетики в Украине. *Пром. теплотехника*. 1999. т. 21. № 6. С. 94–102.
6. Дідух Я. П., Гаврилов С. О. Динаміка запасу та енергетичного потенціалу підстилки лісових екосистем за період вегетації 2007 р. *Укр. фітоценологічний збірник. Серія С. Фітоекологія*. 2007. Вип. 25. С. 19–26.
7. Ковбаса Я. В., Білоус А. М. Мортмаса березняків Чернігівщини: депонований вуглець та енергія: монографія. Київ, 2017. 167 с.
8. СОУ 02.02-37-476:2006. Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання. Київ: Міністерство аграрної ополітики України, 2006. 32 с.
9. Shvidenko A., Nilsson S., Obersteiner M. Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality. *Wood Energy*. 2004. P. 323–340.

### References

1. Al'ternatyvni palyva ta inshi netradytsiyni dzherela enerhiyi: pidruchnyk / Adamenko O., Vysochans'kyu V., L'otko V., Mykhayliv M. pidruchnyk: Ivano-Frankivs'k: Polum'ya, 2000. 270 s.
2. Bilous A. M. Metodyka doslidzhennya mortmasy lisiv. Bioresursy i pryrodokorystuvannya. 2014. T. 6. №3-4. S. 134–140.
3. Bioproduktyvnist' ta enerhetychnyy potentsial m'yakolystyanykh derevostaniv Ukrayins'koho Polissya: monohrafiya : monohrafiya / P. I. Lakyda ta in.; Korsun'-Shevchenkivs'kyu, FOP Havryshenko V. M., 2012. 454 s.
4. Vasylyshyn R. D Biofizychni osnovy lisovoyi bioenerhetyky. Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny. 2013. Vyp. 23.4. S. 29–34.
5. Heletukha H. H., Zheleznaya T. A., Martsenyuk Z. A. Kontseptsyya razvytyya byoenerhetyky v Ukrayne. Prom. teplotekhnyka. 1999. t. 21. № 6. S. 94–102.
6. Didukh Ya. P., Havrylov S. O. Dynamika zapasu ta enerhetychnoho potentsialu pidstylky lisovykh ekosystem za period vehetatsiyi 2007 r. Ukr.

Ковбаса Я. В.

fitotsenolohichnyy zbirnyk. Seriya S. Fitoekolohiya. 2007. Vyp. 25. S. 19–26.

7. Kovbasa Ya. V., Bilous A. M. Mortmasa bereznyakiv Chernihivshchyny: deponovanyu vuhlets' ta enerhiya: monohrafiya. Kyuyiv, 2017. 167 s.

8. SOU 02.02-37-476:2006. Probni ploshchi lisovporyadni. Metod zakladannya. Kyuyiv: Ministerstvo ahraryoi opolityky Ukrayiny, 2006. 32 s.

9. Shvidenko A., Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality / S. Nilsson, M. Obersteiner // Wood Energy. – May 2004. – P. 323–340.

## НАКОПЛЕННАЯ ЭНЕРГИЯ В МОРТМАССЕ БЕРЕЗОВИХ НАСАЖДЕНИЙ ЧЕРНИГОВЩИНЫ

Я. В. Ковбаса

**Аннотация:** По результатам исследований оценена накопленная энергия в мортмассе березовых насаждений Черниговской области. Обработано имеющийся опыт оценки запасов органического вещества отмерших деревьев в лесных биогеоценозах. Освещены методические особенности исследования мортмассы в березовых насаждениях. Проведен статистический и графический анализ мортмассы в зависимости от основных таксационных показателей древостоев. Разработаны математические модели для оценки запаса мортмассы в абсолютно сухом состоянии на 1 га березовых насаждений. Определено содержание общей энергии в мортмассе сухостоя, валежа и опаде грубых веток. Разработаны нормативно-справочные материалы для оценки содержания энергии в компонентах мортмассы березовых насаждений. Установлено общее содержание энергии накопленной в мортмассе березовых насаждений Черниговщины, который составляет 17,5 ПДж.

**Ключевые слова:** сухостой, валеж, ветви, лесная подстилка, средний диаметр, средняя высота, базовая плотность, классы деструкции

## ACCUMULATED ENERGY IN MORMASS OF BIRCH FORESTS IN CHERNIGIV REGION

Y. Kovbasa

**Abstract.** According to the results of the research, the accumulated energy in mormass of birch forests in the Chernihiv region is estimated. The existing experience of estimating the stock of dead organic matter of trees in forest biogeocoenoses has been worked out. The methodical features of research of mormass in birch forests are highlighted. A statistical and graphical analysis of mormass is carried out depending on the main tax indicators tree stand. The mathematical models for estimating the stock of mormass in absolutely dry condition on 1 ha<sup>-1</sup> of birch forests are developed. The content of the total energy containing the above-ground mormass of snags, logs and fallout coarse branches is determined. The normative and reference materials for estimating the energy content in the

Ковбаса Я. В.

*components of mortmass birch forests have been developed. The dynamics of accumulation of energy content in the components of mortmass birch forests. The total energy content of the birch plantations of the Chernigov region accumulated in mortmass is established, which is 17,5 PJ.*

**Key words:** *snags, logs, branches, forest litter, average diameter, average height, basic density, classes of destruction*