

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ КОМПОНЕНТІВ ФІТОМАСИ ДЕРЕВОСТАНІВ КАРПАТСЬКОГО НПП

*В.В. Бокоч, аспірантка**

П.І. Лакида, доктор сільськогосподарських наук

*Р.Д. Васишин, кандидат сільськогосподарських наук,
докторант**

А.Ю. Терентьєв, кандидат сільськогосподарських наук

Наведено результати моделювання компонентів фітомаси головних лісотвірних порід Карпатського національного природного парку. Оцінена загальна фітомаса та депонований в ній вуглець, у тому числі в межах функціональних зон парку.

Фітомаса, депонований вуглець, щільність фітомаси, щільність вуглецю, конверсійні коефіцієнти, стовбурова деревина, гілки, листя, лісотвірна порода.

Фітомаса лісів є основною характеристикою, що визначає хід процесів у лісових екосистемах та використовується для екологічного моніторингу, моделювання продуктивності лісів і оцінки їхньої вуглецедепонувальної ємності. Для визначення запасів депонованого вуглецю в лісах певного регіону потрібно мати детальну інформацію про фітомасу насаджень та її динаміку. Оцінка обсягів фітомаси і депонованого в ній вуглецю є важливою складовою у вивченні екологічної та ресурсознавчої функції лісів.

На сучасному етапі вивчення фітомаси та депонованого вуглецю у лісових екосистемах найчастіше використовують методи, пов'язані з оцінкою відповідних показників через регресійне моделювання компонентів фракцій у абсолютних величинах або застосовують перевідні коефіцієнти із суміщенням у подальшому з банками лісовпорядної інформації. Використання конверсійних коефіцієнтів дозволяє оцінювати запаси фітомаси на підставі статистичних даних лісовпорядкування з різними рівнями агрегації (від окремого насадження до лісових масивів всього регіону [2]).

Конверсійний коефіцієнт, тобто відношення маси фракції фітомаси (M_{fr}) до запасу стовбура в корі (M), вперше був запропонований для оцінки об'єму гілок за об'ємом деревини [14]. Пізніше перевідний коефіцієнт набув поширення в радянських та іноземних дослідженнях ([9, 10, 12, 13] та ін.).

Мета дослідження – моделювання показників компонентів фітомаси головних лісотвірних порід Карпатського НПП з метою визначення кількісних параметрів фітомаси і депонованого в ній вуглецю.

* Науковий консультант, керівник – доктор сільськогосподарських наук П.І. Лакида
© В.В. Бокоч, П.І. Лакида, Р.Д. Васишин, А.Ю. Терентьєв, 2012

Матеріали і методика дослідження. Для інформативного забезпечення моделювання, оцінки та прогнозу динаміки компонентів біопродуктивності лісів Карпатського НПП були використані дані 80 ТПП, закладених науковими співробітниками кафедр лісового менеджменту, лісової таксації та лісовпорядкування Національного університету біоресурсів та природокористування України в Карпатському регіоні.

Оцінка первинної біопродуктивності лісів проводилася за спеціальною методикою [4, 7] на підставі статистичних даних розподілу вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок та запасів стовбурової деревини у лісах Карпатського НПП за головними лісотвірними породами, групами віку, бонітетами станом на 1982, 1989, 2001 та 2010 р.

Пошук математичних моделей взаємозв'язку конверсійних коефіцієнтів насаджень регіону дослідження із загальною фітомасою насаджень здійснювався з використанням такої залежності:

$$R_v = f(A, B, \Pi),$$

де R_v – відповідні конверсійні коефіцієнти (деревина, кора, листя тощо);

$f(A, B, \Pi)$ – функції таксаційних ознак деревостану (вік, бонітет, повнота).

Для моделювання зміни коефіцієнтів R_v використовувалися три види аллометричних залежностей [15]:

$$\begin{aligned} R_v &= a_0 \cdot A^{a_1}, \\ R_v &= a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2}, \\ R_v &= a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot \Pi^{a_3}, \end{aligned}$$

де A – середній вік насадження, років; B – код класу бонітету; Π – відносна повнота насадження; a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти регресії.

Запас вуглецю, його щільність та щільність фітомаси розраховували на ПК за допомогою калькуляційної програми CARBON [6]. Обсяги загальної фітомаси лісів визначали за такими компонентами:

- а) листя (хвоя);
- б) деревина і кора гілок;
- в) деревина і кора пеньків та коренів;
- г) деревина і кора стовбурів;
- д) піднаметова рослинність.

Результати дослідження. Регресійний аналіз робочих масивів показників, які складаються з коефіцієнтів відношень компонентів фітомаси і таксаційних ознак насаджень у межах деревної породи, свідчить, що на динаміку коефіцієнтів R_v значуще (5 %-й рівень) впливають практично всі наведені таксаційні показники. Проте при моделюванні необхідно дотримуватися балансу у співвідношенні адекватності та простоти моделей, тому для подальших розрахунків обрано рівняння, в яких основними аргументами моделей R_v є середній вік (A) та клас бонітету (B) насадження. Детальна характеристика параметрів рівнянь коефіцієнтів відношень R_v фракцій фітомаси у насадженнях головних лісотвірних порід Карпатського НПП наведена в табл. 1.

Значущість впливу факторів на досліджувані компоненти фітомаси оцінювалася на 5 %-му рівні значущості за довірчими інтервалами коефіцієнтів регресії, завдяки чому встановлено, що досліджувані компоненти фітомаси насаджень ялини європейської та бука лісового описуються регресійними рівняннями краще, ніж ялиці білої. Незначущим виявився коефіцієнт детермінації для стовбурової деревини ялиці білої (критичне значення – 0,240 [8]), тому у подальших розрахунках використано модель для ялини європейської. Загалом стовбурова деревина наведених порід описується регресійними рівняннями з нижчим рівнем апроксимації порівняно з іншими компонентами.

1. Множинні регресійні рівняння конверсійних коефіцієнтів R_V оцінки компонентів фітомаси

Номер моделі	Модель регресії	R^2
<i>Ялина європейська</i>		
4.1	$R_{V(st)}=0,192 \cdot A^{0,114} \cdot B^{0,047}$	0,48
	$R_{V(st)}=0,200 \cdot A^{0,109} \cdot B^{0,041} \cdot \Gamma^{0,059}$	0,52
4.2	$R_{V(k)}=0,078 \cdot A^{-0,360} \cdot B^{0,254}$	0,70
	$R_{V(k)}=0,036 \cdot A^{-0,211} \cdot B^{0,358} \cdot \Gamma^{0,338}$	0,79
4.3	$R_{V(g)}=78,842 \cdot A^{-1,914} \cdot B^{-0,331}$	0,83
4.4	$R_{V(l)}=444,593 \cdot A^{-2,458} \cdot B^{-0,276}$	0,92
<i>Ялиця біла</i>		
4.5	$R_{V(st)}=0,396 \cdot A^{0,055} \cdot B^{-0,182} \cdot \Gamma^{0,216}$	0,11
4.6	$R_{V(k)}=0,149 \cdot A^{-0,290} \cdot B^{-0,128}$	0,27
	$R_{V(k)}=0,125 \cdot A^{-0,235} \cdot B^{-0,106} \cdot \Gamma^{0,355}$	0,30
4.7	$R_{V(g)}=0,047 \cdot A^{-0,618} \cdot B^{1,571}$	0,57
	$R_{V(g)}=0,041 \cdot A^{-0,368} \cdot B^{1,302} \cdot \Gamma^{2,108}$	0,74
4.8	$R_{V(l)}=0,061 \cdot A^{-1,149} \cdot B^{2,544}$	0,75
	$R_{V(l)}=0,036 \cdot A^{-0,962} \cdot B^{2,565} \cdot \Gamma^{1,745}$	0,84
<i>Бук лісовий</i>		
4.9	$R_{V(st)}=0,375 \cdot A^{0,100} \cdot B^{0,044}$	0,50
4.10	$R_{V(k)}=0,044 \cdot A^{-0,479} \cdot B^{0,923}$	0,90
4.11	$R_{V(g)}=0,273 \cdot A^{-0,424} \cdot B^{0,4106}$	0,29
	$R_{V(g)}=0,302 \cdot A^{-0,336} \cdot B^{0,156} \cdot \Gamma^{0,361}$	0,32
4.12	$R_{V(l)}=1,093 \cdot A^{-1,688} \cdot B^{1,228}$	0,99

Примітки: *st* – стовбурова деревина; *k* – кора стовбура; *g* – гілки; *l* – листя (хвоя)

Для розрахунку фітомаси інших деревних порід парку, площі і запаси яких наведено в Державному лісовому кадастрі, були використані множинні регресійні рівняння конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси отримані [1, 7, 11].

Оскільки при проведенні досліджень біопродуктивності не досліджувалася фітомаса піднаметової рослинності ($R_{V(pr)}$) та підземна фітомаса деревостанів ($R_{V(kor)}$) головних лісотвірних порід Карпатського НПП, розрахунок загальної фітомаси насаджень проводили за множинними регресійними рівняннями конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси головних лісотвірних порід України [7].

Оцінка загальної фітомаси насаджень у подальшому здійснювалася з розрахунком коефіцієнтів відношень R_v для таких компонентів: $R_{v(l)}$ – листя (хвоя); $R_{v(g)}$ – гілки (деревина і кора гілок крони); $R_{v(st)}$ – деревина стовбурів; $R_{v(k)}$ – кора стовбурів; $R_{v(kor)}$ – підземна фітомаса деревостану; $R_{v(pr)}$ – фітомаса піднаметової частини (підріст, підлісок, живий наґрунтовий покрив і їхні кореневі системи). Коефіцієнт загальної фітомаси деревостану $R_{v(tot)}$ розраховується як сума зазначених компонентів.

Результати розрахунку загальної фітомаси і депонованого в ній вуглецю для лісів Карпатського національного природного парку наведено в табл. 2.

2. Фітомаса та депонований в ній вуглець у лісах Карпатського НПП

Рік обліку	Площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, тис. га	Запас стовбурової деревини, млн м ³	Фітомаса		Вуглець	
			млн т	щільність, кг·(м ²) ⁻¹	млн т	щільність, кг·(м ²) ⁻¹
1982	33,6	9,8	5,411	16,1	2,680	8,0
1989	34,3	11,7	6,714	19,6	3,323	9,7
2001	34,0	12,7	6,785	20,0	3,367	9,9
2010	33,9	13,2	7,003	20,7	3,477	10,3

Аналізуючи результати табл. 2, слід зазначити, що за обліковий період у парку зріс запас стовбурової деревини (на 3,4 млн м³ або 34,5 %) і відповідно збільшився обсяг загальної фітомаси насаджень на 1,6 млн т (29,4 %) та акумульованого в ній вуглецю на 0,8 млн т (29,7 %). Існуюча структура загальної фітомаси і депонованого в ній вуглецю деревостанів головних лісотвірних порід парку та їх тренди дозволяють констатувати позитивні тенденції в динаміці загальної біологічної продуктивності лісів.

Найбільшу частку у загальній фітомасі лісів Карпатського НПП становить деревина та кора стовбурів дерев, яка за обліковий період зростає з 63,3 % до 67,6 %. Частка інших компонентів фітомаси на кінець облікового періоду дещо зменшилася: деревини і кори гілок – на 0,9 %, листя (хвої) – 2,4 %, пнів та коренів – 0,9 % та піднаметової рослинності – на 0,1 %.

Середня щільність фітомаси у вкритих лісовою рослинністю лісових ділянках Карпатського НПП досягає 20,7 кг·(м²)⁻¹ (станом на 2010 рік). Найбільшою щільністю відзначаються твердолистяні насадження – 35,6 кг·(м²)⁻¹, а найменшим цей показник виявився у м'яколистяних – 12,0 кг·(м²)⁻¹. Найближчою до середньої є щільність фітомаси у хвойних насадженнях – 19,0 кг·(м²)⁻¹.

На рис. 1 показано динаміку зміни середньої щільності фітомаси та вуглецю в лісах Карпатського НПП за період з 1982 до 2010 року, з якого чітко простежується збільшення цих показників (від 16,1 кг·(м²)⁻¹ до 20,7 кг·(м²)⁻¹ для фітомаси та від 8,0 кг·(м²)⁻¹ до 10,3 кг·(м²)⁻¹ для вуглецю).

Оскільки Карпатський національний природний парк відвідує велика кількість туристів, то важливим для запобігання надлишкового рекреаційного впливу є виконання вимог, покладених на виділені у парку функціо-

нальні зони. Показники розподілу запасів фітомаси за функціональними зонами парку та її щільність наведена в табл. 3.

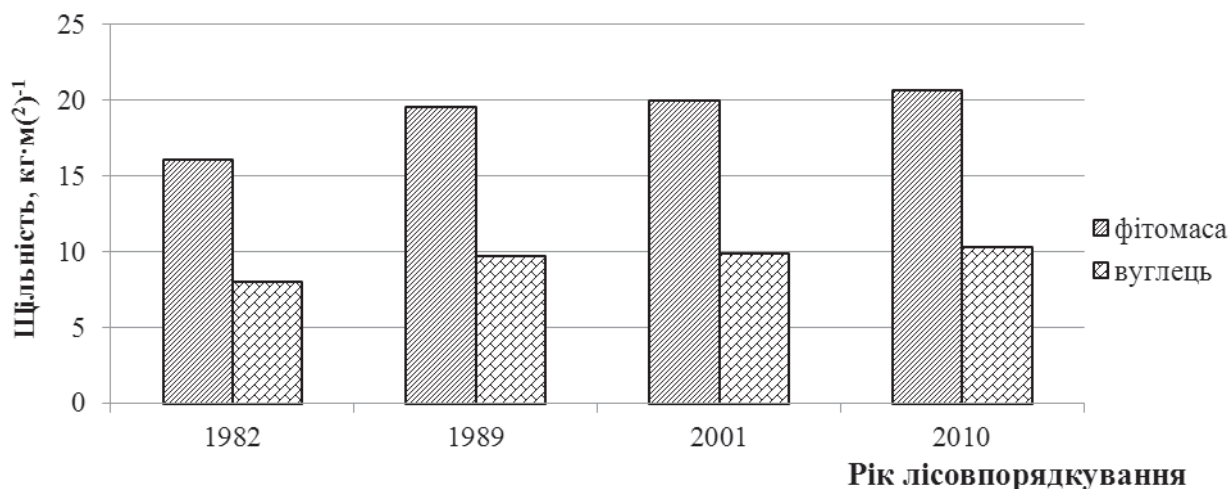


Рис. 1. Динаміка зміни середньої щільності фітомаси та вуглецю в лісах Карпатського НПП

3. Розподіл основних лісотаксаційних показників Карпатського НПП за функціональними зонами

Функціональна зона	Площа лісових ділянок, вкритих лісовою рослинністю, га	Запас стовбурової деревини, млн м ³	Запас на 1 га, м ³	Середній бонітет	Запас фітомаси, млн т	Щільність фітомаси, кг·(м ²) ⁻¹
Заповідна зона	9454,4	3,204	339	II,6	1,840	19,6
Зона регульованої рекреації	24379,2	10,012	411	I ^a ,8	5,152	21,1
Зона стаціонарної рекреації	54,1	0,020	361	I ^a ,8	0,011	19,8
Господарська зона	3,6	0,003	263	I,1	0,001	18,4
Карпатський НПП	33891,3	13,239	391	I,3	7,004	20,7

За результатами табл. 3, найбільшим запасом та щільністю фітомаси характеризується зона регульованої рекреації, в якій накопичено понад 5 млн т фітомаси. Незначні обсяги фітомаси спостерігаються у зоні стаціонарної рекреації та господарській зоні, оскільки вони мають низький відсоток вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок та відповідно незначні запаси стовбурової деревини. Структура компонентів фітомаси у функціональних зонах парку зображена на рис. 2.

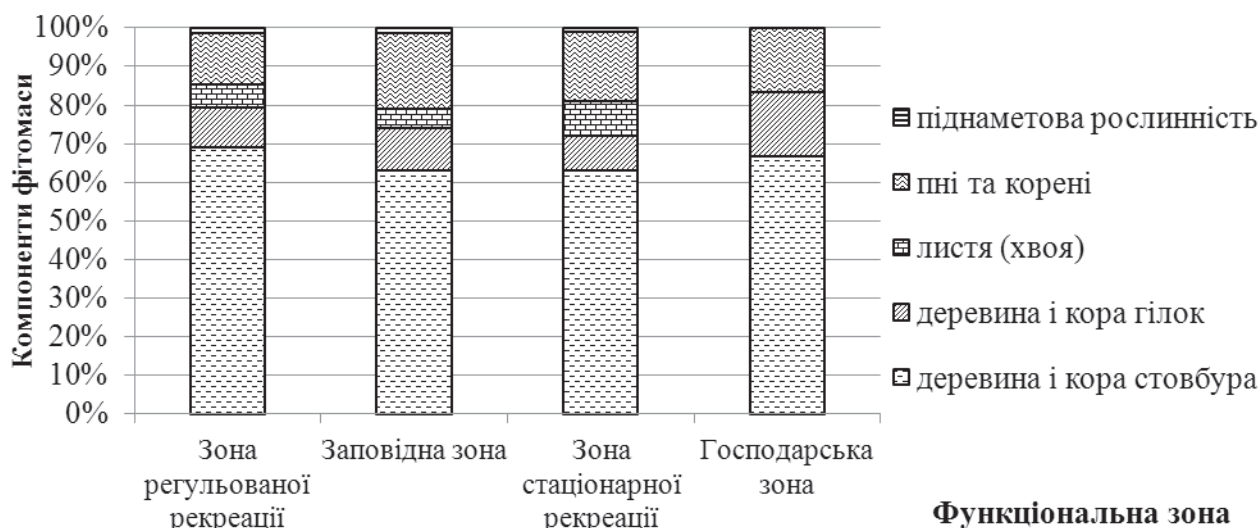


Рис. 2. Структура компонентів фітомаси у функціональних зонах Карпатського НПП

Як свідчить рис. 2, найбільший обсяг фітомаси у всіх зонах Карпатського НПП становить деревина та кора стовбурів дерев. Значно менша, але вагома частка припадає на пні та корені, а найменша – на піднаметову рослинність. Деревина і кора стовбура становить найбільшу частку фітомаси у зоні регульованої рекреації, деревина і кора гілок – у господарській зоні, листя (хвоя) – у зоні стаціонарної рекреації, пні та корені, піднаметова рослинність – у заповідній зоні.

Запаси вуглецю та темпи його депонування в лісових екосистемах залежать від багатьох факторів, від яких залежить і щільність фітомаси: породний склад лісів, вікова структура, тип лісорослинних умов, продуктивність. Відповідно при збільшенні щільності фітомаси насаджень зростає і щільність вуглецю. Щільність фітомаси та депонованого в ній вуглецю в межах функціональних зон Карпатського НПП наведено на рис. 3.

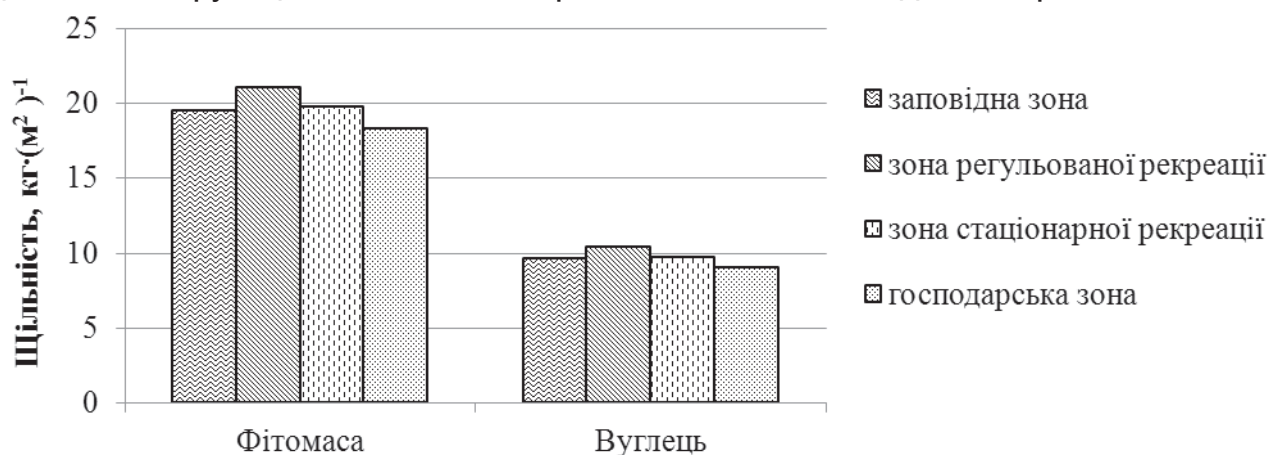


Рис. 3. Щільність фітомаси та вуглецю в лісах Карпатського НПП за функціональними зонами

Як видно з рис. 3, найбільша щільність фітомаси та вуглецю спостерігається у зоні регульованої рекреації (відповідно 21,1 і 10,5 кг·(м²)⁻¹) і є вищою за ці показники для парку в цілому. Найменша щільність фітомаси і вуглецю у господарській зоні (18,4 і 9,1 кг·(м²)⁻¹). У зоні стаціонарної рекреації щільність фітомаси і вуглецю перевищує такі показники заповідної зони на 0,2 і 0,1 кг·(м²)⁻¹ відповідно.

Висновок

Визначено позитивну динаміку кількісних показників, що характеризується збільшенням щільності фітомаси та вуглецю, яка зростає відповідно на 4,6 і 2,3 кг·(м²)⁻¹. На кінець досліджуваного періоду загальний обсяг фітомаси у лісах парку становив понад 7 млн т, де було акумульовано 3,45 млн т вуглецю. Середня щільність фітомаси і вуглецю в насадженнях Карпатського НПП досягає відповідно 20,7 і 10,3 кг·(м²)⁻¹, що на 34 % більше порівняно з середнім показником для лісів України (13,7 і 6,6 кг·(м²)⁻¹) відповідно [3, 4]. Отже, на підставі наведених даних, можна стверджувати, що насадження Карпатського НПП є досить потужним регулятором кліматичних процесів і надійним джерелом поглинання вуглецю в цьому регіоні.

Список літератури

1. Домашовець Г. С. Зональна біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка : дис. ...канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Домашовець Галина Степанівна. – К., 2008. – 248 с.
2. Домашовець Г. С. Фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів Львівщини / Г. С. Домашовець, А. М. Білоус // Науковий вісник НУБіП України. – Серія „Лісівництво та декоративне садівництво”. – 2011. – № 164. – Ч. 1. – С. 21–26.
3. Лакида П. И. Биопродуктивность и энергетический потенциал лесов Украины / П. И. Лакида, А. М. Белоус, Р. Д. Василишин, С. В. Зибцев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Института леса НАН Беларуси, 17–19 ноября. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2010. – С. 53–56.
4. Лакида П. І. Методичні аспекти моніторингу вуглецю в лісостанах України : матеріали наук.-практ. конф. [„Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія, стан, перспективи розвитку”], (Березне, 25–26 квіт. 2007 р.) / П. І. Лакида, О. В. Мазур, О. М. Василишин [та ін.] // Березнівський лісовий коледж. – Березне : НСІ, 2007. – С. 45–46.
5. Лакида П. І. Перспективи використання біомаси лісів України для біоенергії / П. І. Лакида, Р. Д. Василишин // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. збірник НЛТУ. – 2006. – Вип. 30. – С. 225–228.
6. Лакида П. І. Продуктивність лісових насаджень України за компонентами надземної фітомаси : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук : спец. 06.03.02 „Лісовпорядкування та лісова таксація” / П. І. Лакида. – К., 1997. – 48 с.
7. Лакида П. І. Фітомаса лісів України [монографія] / Лакида П. І. – Тернопіль : Збруч, 2002. – 256 с.
8. Никитин К. Е. Методы и техника обработки лесоводственной информации / К. Е. Никитин, А. З. Швиденко. – М. : Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с.

9. Онучин А. А. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев / А. А. Онучин, А. Н. Борисов // Лесоведение. – 1984. – № 6. – С. 66–71.
10. Поздняков Л. К. Леса Якутской АССР / Поздняков Л. К. // Леса СССР. – М. : Наука, 1969. – Т. 4.– С. 469–537.
11. Сахарук Г. А. Біопродуктивність лісів Шацького національного природного парку : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Сахарук Галина Антонівна. – К., 2011. – 175 с.
12. Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев / Усольцев В. А. – Новосибирск : Наука, 1988. – 253 с.
13. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2007. – 638 с.
14. Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reisigmasse zur Derbholmasse / Flury Ph // Mitt. Schweiz. Centralanstalt Forstl. Versuchswesen, 1892, Bd. 2. – S. 25-32.
15. Lakida P. Estimation of Forest Phytomass for Selected Countries of the Former European USSR / Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. // WP-95-79. – Laxenburg, IIASA, 1995. – 33 p.

Представлены итоги моделирования компонентов фитомассы главных лесообразующих пород Карпатского национального природного парка. Выполнена оценка общей фитомассы и депонированного углерода, в том числе в пределах функциональных зон парка.

Фитомасса, депонированный углерод, плотность фитомассы, плотность углерода, конверсионные коэффициенты, лесообразующая порода, стволовая древесина, ветви, листья.

Results of modelling of phytomass components of main forest forming species of Carpathian National Nature Park are presented. Estimation of general phytomass and sequestered carbon, including functional zones of park, is realized.

Phytomass, sequestered carbon, phytomass density, carbon density, conversion coefficients, forest forming species, stem timber, brunches, leaves.

УДК 004.9:378.1

СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ – ШЛЯХ ДО ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ОСВІТИ

В.М. Володимиренко, кандидат сільськогосподарських наук

З метою ефективного застосування інформаційно-комунікаційних та інтернет-технологій на базі платформи Moodle створено електронний навчальний курс з дисципліни «Інформатика» для студентів 1 курсу напряму підготовки «Лісове і садово-паркове-господарство». Навчальний матеріал курсу структуровано за змістовими модулями, на-

© В.М. Володимиренко, 2012