

ЛІСОВА ПОЛІТИКА І ТАКСАЦІЯ

УДК 630*5:582.632.1

БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ВІЛЬХОВИХ НАСАДЖЕНЬ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

*П. І. Лакида, доктор сільськогосподарських наук
В. І. Блищик, кандидат сільськогосподарських наук
Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

*І. В. Блищик, кандидат сільськогосподарських наук
Березнівський лісотехнічний коледж Національного університету
водного господарства та природокористування*

Опрацьовано моделі компонентів фітомаси вільшняків (стовбурної деревини у корі, кори стовбурів, деревини і кори гілок, листя) за методикою Міжнародного інституту прикладного системного аналізу. На основі отриманих моделей і таблиць ходу росту модальних вільхових деревостанів вегетативного походження побудовано таблиці біопродуктивності вільхових насаджень Українського Полісся.

Вільхові деревостани, Українське Полісся, таксаційний показник, моделі росту, моделі компонентів фітомаси, таблиці біопродуктивності.

Закономірності росту й розвитку лісових насаджень нерозривно пов'язані з кліматичними та іншими змінами навколишнього середовища, які відбуваються нині. Цю особливість необхідно враховувати при розробці нових нормативно-довідкових матеріалів, які повинні передбачати оцінку не тільки сировинних, а й екологічних і соціальних функцій лісів. Таким різновидом лісотаксаційних нормативів є таблиці біопродуктивності лісових насаджень.

Незважаючи на те, що вільха клейка поширена в зоні помірного клімату в західній частині Азії і майже всюди в Європі, її біопродуктивність досліджувало небагато вчених, особливо українських. Динаміку біопродуктивності чорновільхових деревостанів екорегіонів зон мішаних і листяних лісів та лісостепу опрацював А. З. Швиденко разом з науковцями у Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (IIASA) в Австрії [5, 12]. Запаси та річне депонування вуглецю, а також чисту первинну продукцію лісів Білорусії за основними лісотвірними породами (включаючи вільху клейку), визначили А. І. Уткін, Д. Г. Замолотчиков, А. А. Пряжніков [7]. Усольцев В. А. [6] сформував базу даних пробних площ, яка містить інформацію про фітомасу і таксаційні

показники вільшняків Бельгії, Литви, Білорусії та Кольського півострова в Росії. Для вільшняків Західного Полісся України І. В. Блищик [1] склав комплекс математичних моделей і таблиць, які можуть розглядатися як лісотаксаційні нормативи для оцінки надземної фітомаси дерев і деревостанів вільхи клейкої.

Наукові досягнення у вивченні біопродуктивності вільшняків на території колишнього СРСР, порівняно з іншими лісотвірними породами, незначні, що дозволяє вважати їхні дослідження актуальним завданням для поповнення нормативно-довідкової бази з оцінки біопродукційних процесів у лісах України.

Мета досліджень – розробити моделі компонентів фітомаси та встановити динаміку біопродуктивності вільхових насаджень Українського Полісся за класами бонітету.

Матеріали та методика досліджень. Таблиці біопродуктивності вільхових деревостанів опрацьовано за методикою Міжнародного інституту прикладного системного аналізу [5, 8, 9, 12]. Наукові співробітники цього інституту А. З. Швиденко і Д. Г. Щепаченко розробили низку програмних продуктів для оцінювання біопродуктивності та інших екологічних функцій лісів на основі моделей росту деревостанів і моделей компонентів фітомаси (рис. 1).

Результати досліджень. Моделі динаміки основних таксаційних показників модальних деревостанів вільхи клейкої було розроблено раніше – під час опрацювання таблиць ходу росту (ТХР) [3]. Проте для здійснення розрахунків за наведеним вище алгоритмом моделі росту потрібно привести до уніфікованого вигляду. Саме тому певні таксаційні показники (середні висота (H) та діаметр (D), сума площ поперечних перерізів (G), запас (M) і загальна продуктивність (W)) модальних деревостанів вільхи клейкої вегетативного походження попередньо вирівнювалися функцією росту Берталанфі (також відомої як Дракіна-Вуєвського або Річарда-Чепмена) [4, 5, 10]:

$$X_i = c_1 \cdot [1 - \exp(-c_2 \cdot A)]^{c_3}, \quad (1)$$

де X_i – таксаційний показник;

A – вік деревостану;

c_1, c_2, c_3 – коефіцієнти рівняння, які за допомогою поліномів апроксимувались у квадратичну форму (SI – код класу бонітету):

$$c_1 = c_{13} \cdot SI^2 + c_{12} \cdot SI + c_{11};$$

$$c_2 = c_{23} \cdot SI^2 + c_{22} \cdot SI + c_{21};$$

$$c_3 = c_{33} \cdot SI^2 + c_{32} \cdot SI + c_{31}.$$

Клас бонітету насаджень визначався за шкалою М. М. Орлова, а для зручності математичного моделювання здійснено його кодування (SI): I^a – (-1), I – 0, II – 1, III – 2, IV – 3.

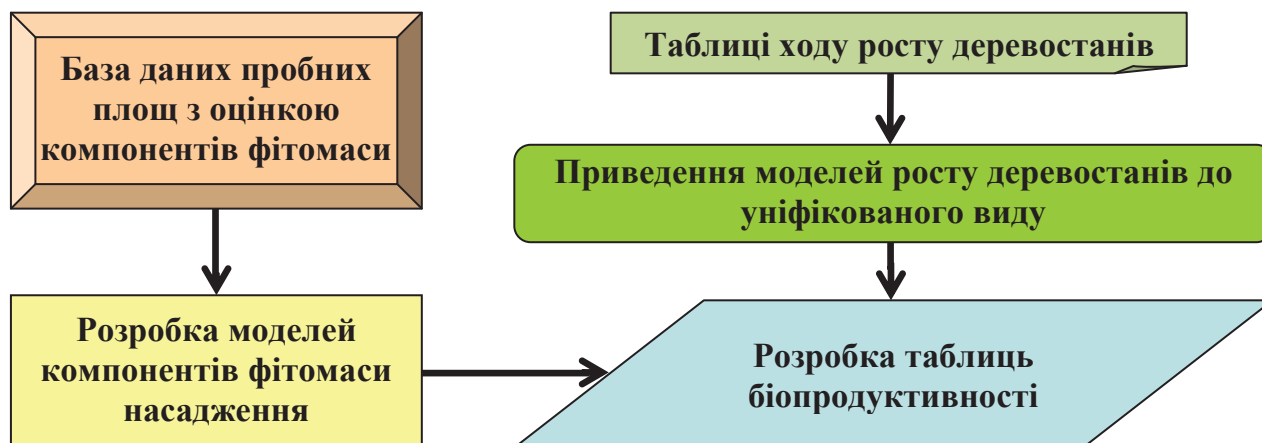


Рис. 1. Алгоритм опрацювання таблиць біопродуктивності [12]

За допомогою спеціалізованого додатку до пакета прикладних програм для числового аналізу *MATLAB* [11], було розраховано параметри рівняння (1) основних таксаційних показників (табл. 1).

1. Коефіцієнти моделей динаміки основних таксаційних показників модальних деревостанів вільхи клейкої

Коефіцієнт рівняння (1)	Показник				
	<i>H</i> , м	<i>D</i> , см	<i>G</i> , м ² ·га ⁻¹	<i>M</i> , м ³ ·га ⁻¹	<i>W</i> , м ³ ·га ⁻¹
<i>c</i> ₁₁	2,990E+1	4,028E+1	2,713E+1	3,612E+2	6,180E+2
<i>c</i> ₁₂	-4,989E+0	-6,113E+0	-4,341E+0	-1,090E+2	-1,756E+2
<i>c</i> ₁₃	1,452E-1	1,774E-1	1,101E-1	9,519E+0	1,393E+1
<i>c</i> ₂₁	2,341E-2	1,555E-2	4,037E-2	2,917E-2	2,295E-2
<i>c</i> ₂₂	3,448E-3	2,461E-3	7,052E-3	4,230E-3	2,852E-3
<i>c</i> ₂₃	4,142E-5	1,034E-4	2,377E-3	1,100E-3	4,442E-4
<i>c</i> ₃₁	7,682E-1	7,691E-1	8,676E-1	1,361E+0	1,433E+0
<i>c</i> ₃₂	9,723E-2	6,748E-2	1,009E-1	1,064E-1	9,244E-2
<i>c</i> ₃₃	7,941E-3	5,548E-3	7,175E-2	4,209E-2	2,677E-2

Оскільки середнє квадратичне відхилення модельних і вихідних значень порівнюваних показників не перевищувало ±3%, а аналіз залишків підтвердив адекватність вирівнювання, то отримані моделі можна використовувати для подальших розрахунків.

Наступний етап дослідження біопродуктивності вільшняків передбачає верифікацію бази даних пробних площ та розробку моделей компонентів фітомаси. У тому випадку, якщо зазначені моделі планується комбінувати з ТХР або даними обліку лісового фонду, як правило, моделюють не саму масу, а відношення (*R_i*) маси окремих фракцій фітомаси (*M_i*) до запасу деревостану:

$$R_i = M_i / M. \quad (2)$$

Показник *R_i* називається конверсійним коефіцієнтом і останніми роками широко застосовується для переходу від запасу деревостану до

його фітомаси ($M_i = R_i \cdot M$) [2, 5, 6, 8–10, 12]. Для оцінювання R_i було використано базу даних, що включає 70 пробних площ, на яких вимірювалися таксаційні показники деревостану і компоненти фітомаси (у тому числі 16 тимчасових пробних площ використано з бази даних IIASA для розширення діапазону дослідних даних і отримання точніших оцінок).

Моделювання залежності R_i окремих компонентів фітомаси від таксаційних ознак деревостану здійснювалося за допомогою апробованого у багатьох дослідженнях рівняння [4, 5, 9, 10, 12]:

$$R_i = \frac{M_i}{M} = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot k^{c_2} \cdot P^{c_3} \cdot \exp(c_4 \cdot A + c_5 \cdot P), \quad (3)$$

де k – код класу бонітету ($I^a - 5, I - 6, II - 7, III - 8, IV - 9$);

P – відносна повнота;

$c_0 - c_5$ – регресійні коефіцієнти.

За рівнянням (3) конверсійний коефіцієнт обчислений для таких компонентів фітомаси вільхових насаджень: стовбурної деревини в корі, кори стовбурів, деревини і кори гілок, фотосинтезувального апарату (листя). Розрахунок фітомаси таких фракцій, як коріння, підріст і підлісок та живий надґрунтовий покрив виконувався за допомогою моделей, які наведені у нормативно-довідкових матеріалах [5]. Варто зазначити, що для оцінки фітомаси нижніх ярусів екосистеми (підліску і підросту, живого надґрунтового покриву) конверсійний коефіцієнт замінюють на безпосередні вагові величини фітомаси [4, 5, 9, 10]. Коефіцієнти моделей для оцінки компонентів фітомаси вільхових насаджень наведено в табл. 2.

2. Коефіцієнти регресійних рівнянь компонентів фітомаси

Компонент фітомаси	Коефіцієнт рівняння (3)					
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
Стовбурна деревина у корі	3,371E-1	1,855E-1	9,500E-3	1,822E-1	-3,400E-3	-2,902E-1
Кора стовбурів	5,860E-2	6,600E-3	2,051E-1	3,068E-1	-2,000E-4	-3,005E-1
Гілки у корі	2,249E-1	-5,288E-1	3,242E-1	4,802E-1	5,800E-3	-7,928E-1
Листя	4,160E-2	-1,104E+0	-1,449E-1	-1,802E+0	1,160E-2	2,495E+0

Усі розроблені моделі компонентів фітомаси є статистично значущими і рівняння (3), зважаючи на свою гнучкість, достатньо добре описує вихідні дані. Графічна інтерпретація моделей фітомаси стовбурної деревини та гілок у корі вільхових деревостанів наведена на рис. 2 і 3.

Конверсійний коефіцієнт фітомаси стовбурної деревини у корі вільхових деревостанів зростає до 55-річного віку, а потім починає спадати. Натомість згаданий показник фітомаси гілок у корі з віком постійно зменшується (до 40–50 років – стрімко, а далі тенденція уповільнюється). Важливо, що при збільшенні як класу бонітету, так і відносної повноти значення конверсійних коефіцієнтів цих компонентів фітомаси зменшуються, а характер зміни відповідає тій, що наведена у нормативно-довідкових матеріалах [5].

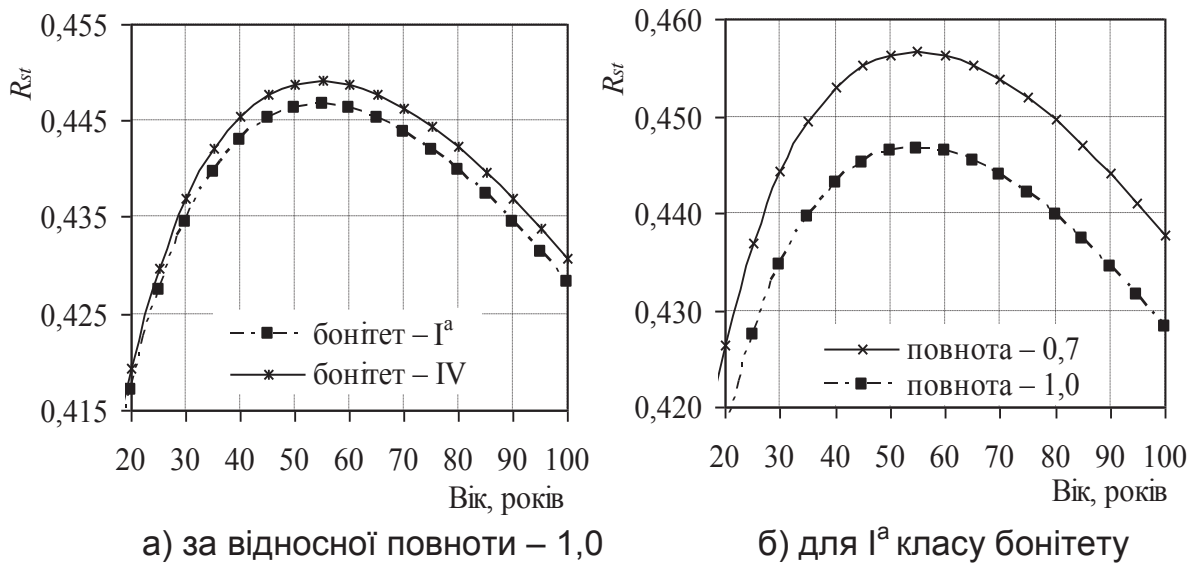


Рис. 2. Динаміка конверсійного коефіцієнта фітомаси стовбурної деревини у корі вільхових деревостанів залежно від класу бонітету (а) і відносної повноти (б)

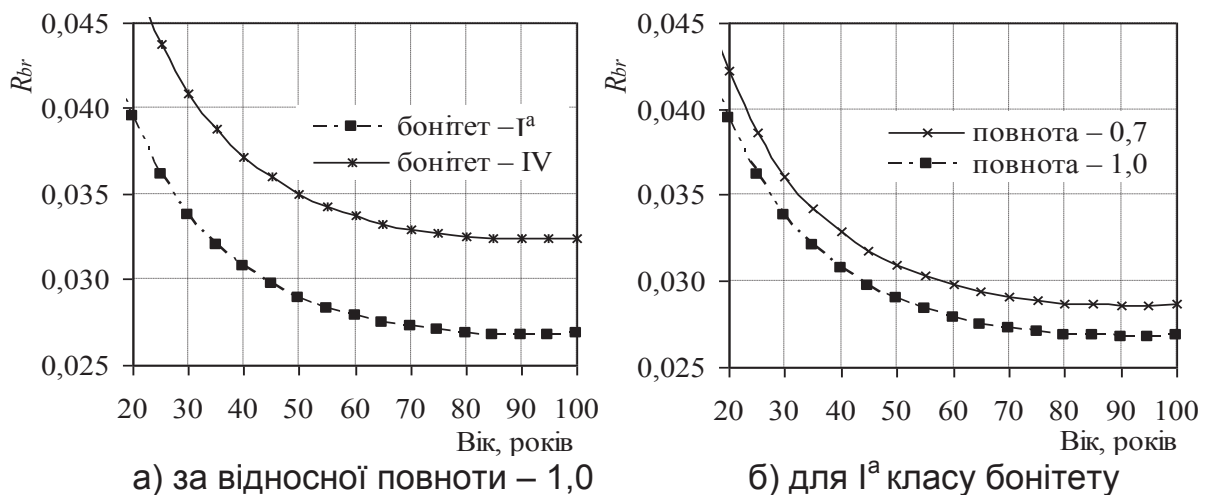


Рис. 3. Динаміка конверсійного коефіцієнта фітомаси гілок вільхових деревостанів залежно від класу бонітету (а) і відносної повноти (б)

У табл. 3 наведено біопродуктивність модальних вільхових насаджень вегетативного походження Українського Полісся II класу бонітету, який є найпоширенішим у регіоні (припадає 51,5 % загальної площі вільшняків).

Два показники мають визначальне значення в таблицях біопродуктивності – динаміка наявної фітомаси та її загальної продуктивності. Подібно до відомих таксаційних параметрів деревостану визначили наявну кількість фітомаси у віці A як її максимальну кількість, якої досягає екосистема протягом вегетаційного періоду року A , і загальну продуктивність фітомаси екосистеми у віці A як накопичену величину всієї продукрованої фітомаси за період існування насадження. Тобто, загальна продуктивність враховує ту кількість фітомаси, яка утворюється насадженням за період його існування, але частина якої на момент оцінювання не була наявною. Так, у розрахунок

3. Біопродуктивність модальних вільхових насаджень вегетативного походження Українського Полісся (II бонітет)

Вік, років	Фітомаса насадження, т·га ⁻¹										Загальна продуктивність, т·га ⁻¹		Поточний приріст фітомаси, т·га ⁻¹ ·рік ⁻¹		
	деревостан										усього	живий надгрунтовий покрив	усього	за наявним запасом	за загальною ністю
	стовбур	у т.ч. кора	гілки	листя	разом	надземної	коріння	усього	підріст і підлісок	живий надгрунтовий покрив					
5	5,60	1,05	1,42	1,02	8,04	4,00	12,04	0,06	1,10	13,20	18,6	3,22	4,08		
10	15,74	2,66	2,55	1,32	19,61	7,93	27,54	0,19	1,52	29,25	49,7	3,26	6,38		
15	27,30	4,34	3,48	1,39	32,17	11,22	43,39	0,34	1,85	45,58	86,3	3,26	7,40		
20	38,91	5,97	4,23	1,46	44,60	14,10	58,70	0,52	2,12	61,34	126,2	3,07	8,02		
25	49,89	7,45	4,85	1,51	56,25	16,55	72,80	0,71	2,36	75,87	167,9	2,79	8,38		
30	59,90	8,78	5,37	1,54	66,81	18,61	85,42	0,91	2,58	88,91	210,7	2,49	8,58		
35	68,81	9,95	5,79	1,56	76,16	20,35	96,51	1,13	2,78	100,42	254,0	2,18	8,67		
40	76,60	10,97	6,15	1,57	84,32	21,81	106,13	1,35	2,97	110,45	297,6	1,89	8,71		
45	83,30	11,84	6,44	1,58	91,32	23,03	114,35	1,57	3,15	119,07	341,1	1,62	8,71		
50	88,98	12,59	6,69	1,58	97,25	24,05	121,30	1,80	3,32	126,42	384,5	1,38	8,69		
55	93,72	13,23	6,90	1,59	102,21	24,84	127,05	2,02	3,45	132,52	427,7	1,13	8,63		
60	97,64	13,78	7,08	1,59	106,31	25,49	131,80	2,24	3,57	137,61	470,7	0,95	8,59		
...															
80	106,95	15,22	7,60	1,63	116,18	27,18	143,36	3,09	4,01	150,46	641,3	0,42	8,51		
85	108,08	15,45	7,71	1,64	117,43	27,45	144,88	3,29	4,10	152,27	683,9	0,33	8,52		
90	108,86	15,63	7,80	1,66	118,32	27,69	146,01	3,48	4,19	153,68	726,6	0,25	8,54		
95	109,33	15,78	7,90	1,67	118,90	27,90	146,80	3,67	4,28	154,75	769,4	0,19	8,57		
100	109,55	15,91	7,99	1,69	119,23	28,09	147,32	3,85	4,36	155,53	812,4	0,13	8,60		

включають оборот листя, тонких коренів, опад гілок, відмерлі корені тощо. Обидва показники визначаються в одиницях сухої речовини або вуглецю на одиницю площі ($t \cdot ga^{-1}$ чи $g C \cdot (m^2)^{-1}$). Очевидно, що поточний приріст фітомаси за загальною продуктивністю є чистою первинною продукцією, яка розглядається як маса органічної речовини, що продукується екосистемою за одиницю часу на одиниці площі [5, 8, 9].

Варто зазначити, що поточний приріст фітомаси як за наявним запасом, так і за загальною продуктивністю розрахований не як різниця між двома суміжними значеннями показника за період (у даному випадку за 5-річний), тобто за відомою формулою лісової таксації, а точно для певного віку (5, 10, 15, 20 і так далі років).

Висновки

Опрацьовано моделі фітомаси стовбурної деревини в корі, кори стовбурів, гілок і листя, які адекватно описують реальні біопродукційні процеси вільшняків. За допомогою програмних засобів і відповідно до методики Міжнародного інституту прикладного системного аналізу, яка передбачає суміщення моделей росту і фітомаси, побудовано таблиці біопродуктивності вільхових насаджень для I^a–IV класів бонітету у віковому діапазоні 5–100 років.

Розроблені моделі компонентів фітомаси і таблиці біопродуктивності можуть бути використані як для розрахунку повного вуглецевого бюджету лісових екосистем, так і для загальної оцінки фітомаси лісів при їх поєднанні з повидільною базою даних Виробничого об'єднання «Укрдержліспроект».

Список літератури

1. Блищик І. В. Продуктивність та надземна фітомаса вільшняків Західного Полісся України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація» / І. В. Блищик. – К., 2008. – 20 с.
2. Лакида П. І. Біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка : [монографія] / П. І. Лакида, Г. С. Домашовець. – Корсунь-Шевченківський : Гаврищенко В. М., 2009. – 222 с.
3. Лакида П. І. Ход роста модальных черноольховых древостоев порослевого происхождения Украинского Полесья / П. И. Лакида, В. И. Блыщик, И. П. Лакида // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. трудов Ил НАН Беларуси. – 2014. – Вып. 74. – С. 325–336.
4. Семечкин И. В. Общие таблицы хода роста и биологической продуктивности полных («нормальных») насаждений сосны кедровой сибирской / И. В. Семечкин, А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко // Лесная таксация и лесоустройство. – 2005. – № 1 (34). – С. 7–27.
5. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / [Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И.] / – [2-е изд., доп.]. – М. : Московская типография № 6, 2008. – 888 с.
6. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. –

Екатеринбург : УрО РАН, 2007. – 638 с.

7. Уткин А. И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере республики Беларусь) / А. И. Уткин, Д. Г. Замолотчиков, А. А. Пряжников // Лесоведение. – 2003. – № 1. – С. 48–57.

8. Швиденко А. З. Агрегированные модели фитомассы основных лесообразующих пород России / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. – 2001. – № 1. – С. 50–57.

9. Швиденко А. З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России. 2. Таблицы и модели биопродуктивности / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй // Лесное хозяйство. – 2004. – № 2. – С. 40–44.

10. Щепашенко Д. Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственничных лесов северо-востока России : [монография] / Д. Г. Щепашенко, А. З. Швиденко, В. С. Шалаев. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 296 с.

11. Matlab: официальный учебный курс Кембриджского университета / Hunt B. R., Lipsman R. L., Rosenberg J. M. et al. – [пер. с англ. Д. Н. Проценко, А. А. Мизонова]. – М. : Триумф, 2008. – 351 с.

12. Shvidenko A. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests / Shvidenko A., Schepaschenko D., Nilsson S., Bouloui Y. // Ecological Modelling. – 2007. – Vol. 204. – P. 163–179.

По методике Международного института прикладного системного анализа разработаны модели компонентов фитомассы ольшаников (стволовой древесины в коре, коры стволов, древесины и коры ветвей, листьев). На основе полученных моделей и таблиц хода роста модальных ольховых древостоев порослевого происхождения построены таблицы биопродуктивности ольховых насаждений Украинского Полесья.

Ольховые древостои, Украинское Полесье, таксационный показатель, модели роста, модели компонентов фитомассы, таблицы биопродуктивности.

Models of live biomass fractions of alder stands (stem wood over bark, bark, wood and bark of branches, foliage) were developed according to the methodology of the International Institute for Applied Systems Analysis. Tables of bioproductivity of black alder forests in Ukrainian Polissya were created based on the obtained models and yield tables for modal alder stands of vegetative origin.

Alder stands, Ukrainian Polissya, biometric index, growth models, models of live biomass fractions, tables of bioproductivity.