

ЩІЛЬНІСТЬ ДЕРЕВИНИ СТОВБУРІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО ПРИДНІПРОВСЬКОГО ПОЛІССЯ

Відібрано, згруповано та опрацьовано експериментальні дані тимчасових пробних площ у Південному Придніпровському Поліссі, які репрезентативно відображають основні таксаційні показники та найтисповіші умови росту деревостанів. Проаналізовано кореляційні зв'язки природної та базисної щільності деревини стовбурів та деревини стовбурів у корі з таксаційними показниками дерев. Встановлено, що базисна щільність деревини і кори стовбурів з віком, діаметром і висотою дерев має прямий, а природна – обернений зв'язок. Проведено статистичний аналіз і проаналізовано відповідність основних ознак та досліджуваних величин закону нормальності розподілу. Проведено графічний аналіз залежності базисної щільності деревини стовбурів у корі модельних дерев від віку, діаметра і висоти. Визначено показники природної та базисної щільності деревини стовбурів, кори та деревини стовбурів у корі сосни звичайної. Встановлено, що вік дерева найбільше впливає на щільність деревини стовбура. Розроблено регресійні рівняння для оцінки базисної щільності деревини стовбурів та деревини стовбурів у корі сосни звичайної. Оцінено адекватність отриманих моделей вихідним даним. Проаналізовано залишки регресійних рівнянь. Виявлено відмінності показників щільності деревини стовбурів сосни звичайної у різних регіонах досліджень.

Ключові слова: таксаційні показники; кореляційний зв'язок; регресійна модель; коефіцієнт детермінації.

Вступ. Ефективність лісогосподарських заходів оцінюють кількісними показниками. Такий спосіб не дає змоги проводити повну і об'єктивну їх оцінку. Сучасна екологічна ситуація, поряд з отриманням показників продуктивності, вимагає якісної оцінки деревини. Сьогодні загально визнаним фактором є домінуюча роль лісів у стабільності біосфери, тому особливу увагу приділяють моніторингу процесів у лісових екосистемах. На фоні екологізації лісогосподарських досліджень оцінювання біопродуктивності лісів дасть змогу вирішити екологічні, лісівничі та енергетичні питання.

Під час дослідження біопродуктивності, фітомаси та депонованого вуглецю у деревостанах оцінювання стану та динаміки якісних ознак компонентів фітомаси дерев є невід'ємним завданням. Деревні рослини є продуктом власної генетичної конструкції, реалізованої під дією навколишнього середовища, що змінюється з часом (Korchagov et al., 2009). Саме тому якісні характеристики сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в різних регіонах відрізняються.

Науковці стверджують про можливість регулювання щільності деревини рубками догляду (Danilov & Skurchenko, 2014; Druzhinin, Druzhinin & Gribov, 2016). Різні типи і режими догляду за лісом впливають на камбіальну діяльність стовбура дерева, що призводить до зміни показників анатомічної будови деревини та її базисної щільності (Danilov & Skurchenko, 2014). Водночас, щільність деревини впливає на товарну структуру і вартість, а також (через призму фітомаси деревостану) на екологічні та кліматорегуляційні функції лісу.

Мета дослідження – встановити показники щільності деревини стовбурів сосни звичайної Південного Придніпровського Полісся.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження показників якості, зокрема природної та базисної щільності деревини і кори стовбурів деревини, проводили на території Південного Придніпровського Полісся.

Збір дослідних даних здійснювали у високопродуктивних насадженнях сосни звичайної з бонітетом I-I^c, повнотою 0,51-0,91 та характерним типом лісорослинних умов (ТЛУ) В₂, С₂. Пробні площі закладали з урахуванням стандартизованих вимог "Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання" (SOU 02.02-37-476, 2006).

У процесі дослідження було зрубано і обміряно 50 модельних дерев (МД), визначено таксаційні показники насаджень, в яких вони зростали, проаналізовано понад 350 зразків деревини. Вік МД становить від 7 до 82 років. Відповідно до методики П. І. Лакиди для оцінювання щільності деревини стовбурів на модельних деревах випилювали дослідні зрізи деревини на пні, висоті 1,3 м та відносних висотах стовбура (0,25h; 0,5h; 0,75h) (Lakyda, 2002).

Природну щільність деревини визначали як відношення маси зразка до його об'єму у свіжозрубаному стані, а базисну – як відношення маси зразка в абсолютно сухому стані до його об'єму у свіжозрубаному стані. Середню щільність деревини стовбурів сосни розраховували за формулою залежно від показників локальної щільності та діаметрів на відносних висотах стовбура (Lakyda, 2002).

Вологозабезпеченість дерев та їх органів може значно відрізнятися і це прямо пропорційно впливає на показники природної щільності. Саме тому для характеристики якісних показників деревини доцільніше використовувати базисну щільність.

Результати дослідження. Статистики вихідних даних базисної щільності деревини стовбурів (p'_{ds}), кори стовбурів (p'_{ks}), деревини стовбурів у корі (p'_{ds+} p'_{ks}), а також основних таксаційних параметрів модельних дерев сосни звичайної (вік, діаметр, висота) наведено в табл. 1.

Шкода, але жодна сукупність даних, що характеризує відповідний показник, не відповідає умовам нормального розподілу (крім базисної щільності стовбура і

базисної щільності стовбура у корі), оскільки фактичні показники косості і крутості більші за їх критичні значення ($A_{кр}=0,653$, $E_{кр}=1,01$). Розподіл більшості наведених показників характеризується від'ємною асиметрією, що свідчить про зсув кривої розподілу за цими ознаками ліворуч. Згідно з даними табл. 1, переважає від'ємний ексцес, що говорить про плосковершинність кривої розподілу.

Табл. 1. Основні статистики таксаційних показників модельних дерев і базисної щільності деревини і кори стовбурів

Ознака	Значення		Статистики			
	min	max	\bar{X}	σ	A	E
У натуральних величинах						
<i>a</i> , років	7	82	49	22,1	-0,312	-0,708
<i>d</i> _{1,3} , см	3,0	42,1	24,0	10,4	-0,415	-0,380
<i>h</i> , м	3,1	34,7	23,8	8,6	-1,263	1,001
p'_{ds} , кг/м ³	313	443	393,1	37,7	-0,396	-1,047
p'_{ks} , кг/м ³	202	437	296,5	45,2	0,688	2,034
$p'_{ds} + p'_{ks}$, кг·(м ³) ⁻¹	316	433	385,8	37,3	-0,410	-1,096
У логарифмах натуральних величин						
<i>a</i> , років	4	2	4	0,7	-1,568	1,989
<i>d</i> _{1,3} , см	3,0	1,1	3,7	0,7	-1,661	2,320
<i>h</i> , м	3,0	1,1	3,5	0,6	-2,199	4,033
p'_{ds} , кг/м ³	6	6	6,1	0,1	-0,521	-0,836
p'_{ks} , кг/м ³	6	5	6,1	0,2	0,019	1,116
$p'_{ds} + p'_{ks}$, кг/м ³	6	6	6,1	0,1	-0,525	-0,955

Наявність та тісноту лінійного зв'язку природної та базисної щільності деревини стовбурів з основними таксаційними показниками дерев сосни звичайної встановлювали за допомогою кореляційного аналізу (табл. 2). Виявлено сильний прямий кореляційний зв'язок базисної щільності деревини стовбурів і деревини стовбурів у корі з віком і висотою дерева та значний з діаметром. Своєю чергою, кора стовбурів сосни звичайної характеризується слабким, але значущим кореляційним зв'язком з віком і висотою дерева.

Табл. 2. Коефіцієнти кореляції щільності деревини стовбурів, кори стовбурів та деревини стовбурів у корі з таксаційними показниками дерев

Показник дерев	Щільність, кг·м ⁻³					
	природна			базисна		
	деревина	кора	деревина у корі	деревина	кора	деревина у корі
<i>a</i> , років	-0,11	-0,46	-0,07	0,85	0,24	0,87
<i>d</i> _{1,3} , см	-0,10	-0,54	-0,06	0,61	0,05	0,63
<i>h</i> , м	-0,10	-0,57	-0,05	0,77	0,13	0,80

Треба вказати на відсутність лінійного зв'язку природної щільності деревини стовбурів та деревини стовбурів у корі з основними таксаційними показниками.

Для з'ясування зміни показників щільності компонентів фітомаси стовбурів зі збільшенням основних параметрів дерева проводили аналіз природної та базисної щільності залежно від основних таксаційних показників модельних дерев. На рис. 1 зображено залежність базисної щільності деревини стовбурів у корі модельних дерев від віку, діаметра і висоти.

Графічна інтерпретація залежності базисної щільності деревини стовбура у корі відображає тенденції зростання показників щільності зі зростанням віку, діаметра і висоти. Показники середньої щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної наведено у табл. 3.

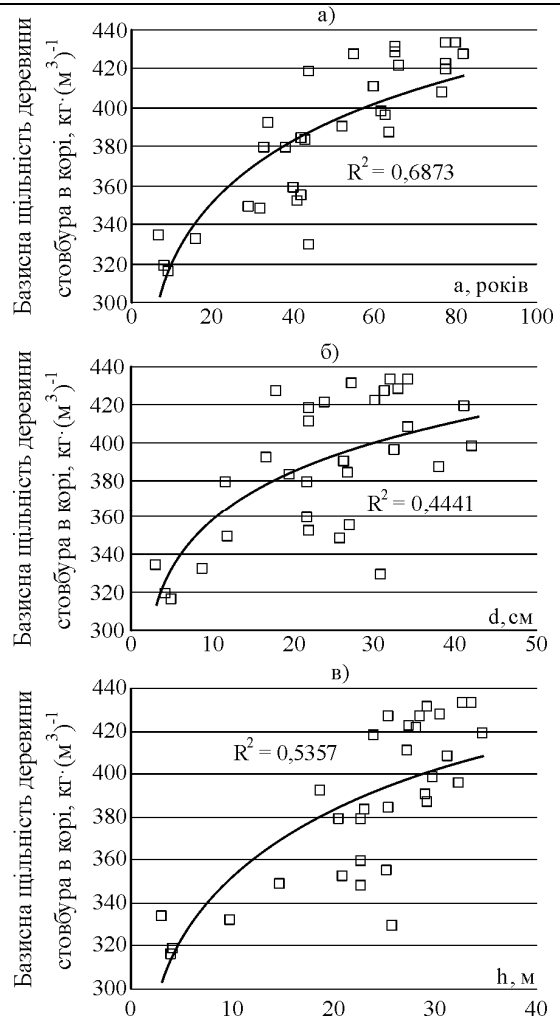


Рис. 1. Залежність базисної щільності деревини стовбурів у корі модельних дерев сосни звичайної від віку (а), діаметра (б) і висоти (в)

Табл. 3. Середні показники природної та базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної

Вид щільності	Щільність, кг·(м ³) ⁻¹					
	природна			базисна		
	деревина	кора	деревина у корі	деревина	кора	деревина у корі
Природна	804	541	790	804	541	790
Базисна	393	296	386	393	296	386

Вважається, що природна щільність характеризується значною мінливістю, оскільки вона залежить не тільки від властивостей деревини, але й від її вологості.

На основі отриманих даних проведено пошук і розрахунок регресійних рівнянь. Не вдалося отримати позитивних результатів під час розрахунку моделей оцінки середньої базисної щільності деревини стовбура одночасно за віком, діаметром і висотою дерев. Враховуючи достатню однорідність дослідних даних за бонітетом та типом лісорослинних умов, для моделювання використано формулу

$$p' = a_0 a^{a_1}, \quad (1)$$

де: p' – базисна щільність компонента фітомаси, кг·(м³)⁻¹; a_0 , a_1 – коефіцієнти рівняння регресії; a – вік дерева, років. Адекватність отриманих моделей вихідним даним оцінювали статистиками їхніх залишків (рис. 2) та за коефіцієнтами детермінації отриманих рівнянь. З отри-

маних регресійних рівнянь оцінки показників базисної щільності деревини стовбура найбільш інформаційними є, на наш погляд, такі моделі:

$$p'_{ds} = 244,505a^{0,126}, (R^2 = 0,66); \quad (2)$$

$$p'_{ds} + p'_{ks} = 234,688 \cdot a^{0,132}, (R^2 = 0,71). \quad (3)$$

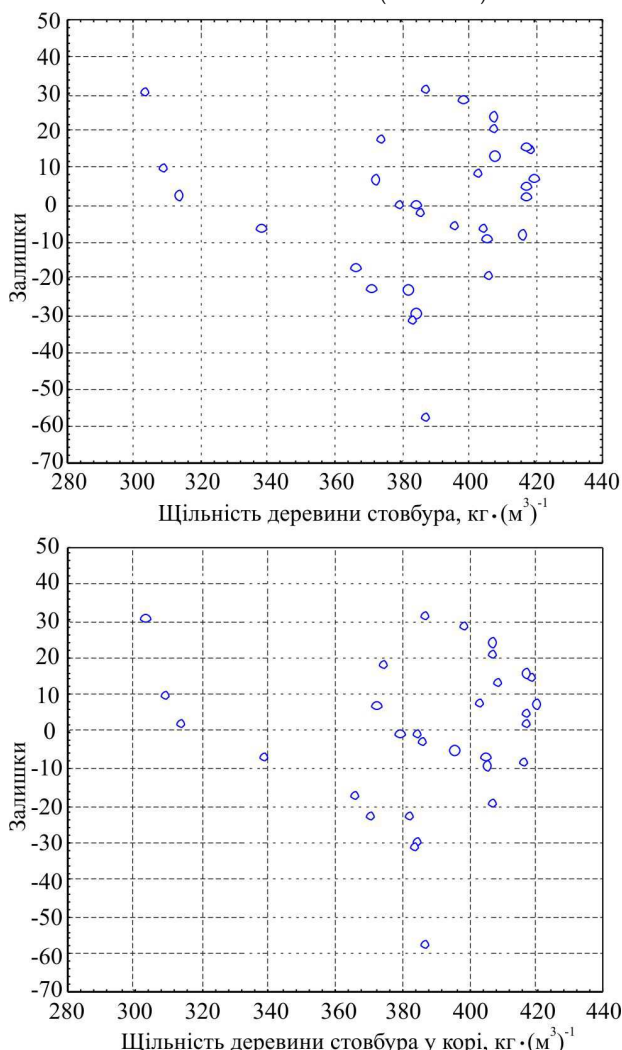


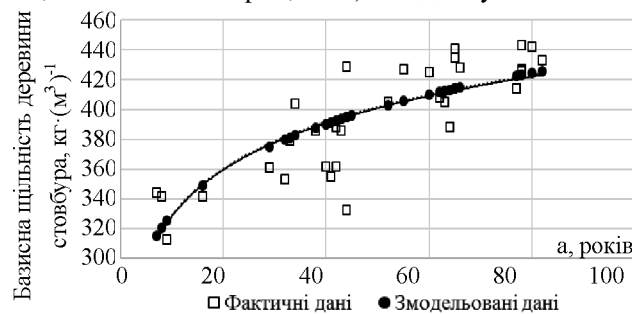
Рис. 2. Залишки регресійних рівнянь

На рис. 2 зображено залишки запропонованих регресійних рівнянь. Можна зробити висновок щодо дотримання умови нормальності їх розподілу. Вплив не врахованих у моделі факторів незначний, спільна їх дія є однаковою в усіх частинах сукупності, варіація середньої щільності деревини стовбура не залежить від рівня не врахованих факторів. Це свідчить, що отримана модель адекватна вихідним даним.

Залежності абсолютних та змодельованих значень базисної щільності деревини стовбурів сосни звичайної від віку модельних дерев зображено на рис. 3. Згідно з даними цього рисунку, навіть в одновікових дерев показники базисної щільності деревини стовбура можуть істотно відрізнятись, проте лінії тренду вказують на зростання якісних характеристик зі зростанням віку дерева. Вважається, що діапазон віку дослідних даних становить 7-82 роки. Тобто у стиглих і перестійних насадженнях характер зміни щільності деревини стовбура може дещо відрізнятись.

Порівняння отриманих даних з даними П.І. Лакиди (Lakyda, 2002) для Полісся та Лісостепу України,

В.В. Успенського (Uspenskii, 1980) для Східного Лісостепу (Воронезька обл.) та В.П. Пастернака, В.В. Назаренка, Ю.В. Карпеця для Лісостепу Харківщини (Pasternak, Nazarenko & Karpets, 2014) наведено у табл. 4.



Лінія тренду: — фактичні дані, ---- змодельовані дані

Рис. 3. Залежність базисної щільності деревини стовбурів сосни звичайної від віку

Найбільша різниця між результатами спостережень порівняно даних з Воронезькою обл. (до 17 %), найменша – з Харківською обл. (до 7 %). Це свідчить про регіональні відмінності якісних показників деревини сосни звичайної: чим територіально ближче розташовані регіони, тим менша різниця у щільності деревини. Розбіжності показника щільності деревини сосни звичайної свідчать про потребу її визначення для кожного регіону. Адже навіть незначні відхилення можуть впливати на подальший розрахунок запасу фітомаси, депонованого вуглецю і кількості продукованого кисню.

Табл. 4. Порівняльна характеристика базисної щільності деревини стовбурів

Вік, років	Середня базисна щільність деревини стовбура, кг·(м³)⁻¹ за даними			
	П.І. Лакиди (Lakyda, 2002)	В.П. Пастернака (Pasternak, Nazarenko & Karpets, 2014)	В.В. Успенського (Uspenskii, 1980)	результати дослідження
30	402	403	320	375
40	420	418	378	389
50	436	430	392	400
60	451	440	414	410
70	465	446	432	418
80	478	450	449	425

Виявлені особливості досліджуваних показників щільності деревини сосни звичайної потрібно враховувати під час визначення динаміки фітомаси, обсягів депоновання насадженнями вуглецю та розроблення заходів, спрямованих на посилення кліматорегуляційних функцій лісів у Південному Придніпровському Поліссі (Bozhok & Vintoniv, 1992).

Висновки. Природна щільність деревини істотно залежить від вологонасиченості деревини. Більш стійким показником є базисна щільність. Щільність кори стовбурів є нижчою за щільність деревини і найтісніший кореляційний зв'язок створює з віком дерева, тоді як діаметр дерева на висоті грудей майже не впливає на якісні показники кори.

Базисна щільність деревини і кори стовбурів з віком, діаметром і висотою дерев має прямий, а природна – обернений зв'язок. Зі збільшенням віку, діаметра і висоти дерев базисна щільність деревини стовбурів і деревини стовбурів у корі зростає.

Середня природна щільність деревини стовбурів становить 804 кг·(м³)⁻¹, кори стовбурів – 541 кг·(м³)⁻¹,

деревини стовбурів у корі – $790 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Середня базисна щільність деревини стовбурів становить $393 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$, кори стовбурів – $296 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$, деревини стовбурів у корі – $386 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

Результати наших досліджень узгоджуються з висновками О. І. Полубояринова (Poluboiarinov, 1976) та В. А. Усольцева (Usoltsev, 1985) в тому, що вік дерева є найбільш інформативним фактором, який визначає щільність деревини стовбурів.

Показник базисної щільності деревини стовбурів сосни звичайної є дещо меншим порівняно з даними для Полісся та Лісостепу загалом, що можна пояснити особливостями росту деревостанів в умовах Південного Придніпровського Полісся.

Перелік використаних джерел

Bozhok, O. P., & Vintoniv, I. S. (1992). *Derevnoznnavstvo z osnovamy lisovoho tovaroznavstva*. Kyiv: Vyd-vo NMK VO, 320 p. [in Ukrainian].

Daniilov, V. A., & Skupchenko, V. B. (2014). *Izmeneniia v stroenii sosny i eli na anatomicheskom urovne v drevostoiakh, proidennykh rubkami ukhoda i kompleksnym ukhodom*. *Izvestiia VUZov. Lesnoi zhurnal*, 5(341), 70–88. [in Russian].

Druzhinin, N. A., Druzhinin, F. N., & Gribov, S. E. (2016). *Vliianie vyborochnykh form rubok na kachestvennye pokazateli drevesiny podpologovoi eli*. *Izvestiia VUZov. Lesnoi zhurnal*, 6(354), 56–64. [in Russian].

Korchagov, S. A., Khamitov, R. S., Gribov, S. E., Avdeev, Iu. M., & Shchekalev, R. V. (2009). *Kachestvennye pokazateli drevesiny i ikh nasleduemost v klonovoi populiatcii eli obyknovnoi*. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa*, 22, 119–123. [in Russian].

Lakyda, P. I. (2002). *Fitomasa lisiv Ukrainy*. Ternopil: Zbruch, 256 p. [in Ukrainian].

Pasternak, V. P., Nazarenko, V. V., & Karpets, Iu. V. (2014). *Yakisni kharakterystyky derevyny sosny zvychnoi ta fitomasa sosniakiv lisostepu Kharkivshchyny*, 125, 38–45. Kharkiv: UkrNDILHA. [in Ukrainian].

Poluboiarinov, O. I. (1976). *Plotnost drevesiny*. Moscow: Lesn. promst, 160 p. [in Russian].

SOU 02.02-37-476:2006. (2006). *Ploshchi probni lisovoporiadni. Metod zakladannia*. Vved. 26.12.2006. Kyiv: Minahropolityky Ukrainy, 32 p. [in Ukrainian].

Usoltsev, V. A. (1985). *Modelirovanie struktury i dinamiki fitomassy drevostoev*. Krasnoarsk: Izd. Krasnoarsk. un-ta, 192 p. [in Russian].

Uspenskii, V. V. (1980). *Izmenchivost plotnosti drevesiny sosny i ee ispolzovanie v vesovoi taksatcii*. *IVUZ Lesnoi zhurnal*, 6, 9–12. [in Russian].

S. S. Koval'ska

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СТЕЛОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРИДНЕПРОВСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Проведен отбор, группировка и обработка экспериментальных данных временных пробных площадей в Южном Приднeпровском Полесье, которые репрезентативно отражают основные таксационные показатели и наиболее типичные условия роста древостоев. Проанализированы корреляционные связи естественной и базисной плотности древесины стволов и древесины стволов в коре с таксационными показателями деревьев. Установлено, что базисная плотность древесины и коры стволов с возрастом, диаметром и высотой деревьев имеет прямую, а естественная – обратную связь. Проведен статистический анализ и проанализировано соответствие основных признаков и исследуемых величин закону нормальности распределения. Проведен графический анализ зависимости базисной плотности древесины стволов в коре модельных деревьев от возраста, диаметра и высоты. Определены показатели естественной и базисной плотности древесины стволов, коры и древесины стволов в коре сосны обыкновенной. Установлено, что возраст дерева наиболее влияет на плотность древесины ствола. Разработаны регрессионные уравнения для оценки базисной плотности древесины стволов и древесины стволов в коре сосны обыкновенной. Оценена адекватность полученных моделей исходным данным. Проанализированы остатки регрессионных уравнений. Выявлены различия показателей плотности древесины стволов сосны обыкновенной в различных регионах исследований.

Ключевые слова: таксационные показатели; корреляционная связь; регрессионная модель; коэффициент детерминации.

S. S. Koval'ska

TRUNK WOOD DENSITY OF SCOTS PINE IN THE SOUTHERN DNEPER POLISSYA

Today the dominant role of forests in biosphere stability is a generally accepted factor, therefore special attention is paid to forest ecosystems processes monitoring. Against the background of forestry researches greening assessment of forests bioproductivity will solve ecological, silvicultural, and energetic problems. Investigations of trunk wood density of Scots pine were carried according to P.I. Lakida's procedure. In the course of investigations 50 test trees were cut and measured, taxation indicators of the plantations in which they grew were determined, 350 wood samples were analyzed. Test trees age is from 7 to 82 years. Natural wood density was determined as the ratio of sample mass to its volume in green state, the basic one – as the ratio of sample mass in absolutely dry condition to its volume in green state. In the course of statistical analysis it was determined that the basic wood and trunk bark density with tree age, diameter and height has direct correlation, and natural one – inverse correlation. Based on the above obtained data the search and calculation of regression equations were carried out. The adequacy of obtained models to the initial data was estimated by the statistics of their residuals and by the coefficients of obtained equations determination. The results of these studies are consistent with O. I. Poluboiarinov and V. A. Usoltsev conclusions in that tree age is the most informative factor, determining trunk wood density. Obtained data were compared with P. I. Lakida's data for the Polissya and Forest-Steppe of Ukraine, with V.V. Uspensky's data for the western forest-steppe (Voronizh region) and with V. P. Pasternak, V. V. Nazarenko, U. V. Karpets' data for the forest-steppe of Kharkiv region. The more territorially closer the regions are the less is the difference in the wood density. Identified peculiarities of investigated indexes of Scots Pine wood density are to be taken into account when determining the dynamics of phytomass, carbon deposits volumes and development of activities aimed at strengthening of climate-regulating functions of forests in the Southern Dnieper Polissya.

Keywords: taxation indicators; correlation; regression equations; coefficient of determination.

Інформація про автора:

Ковальська Станіслава Сергіївна, аспірант, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна. Email: stanislavakoval'ska@ukr.net