

УДК 630.5.001.57

С. А. СИТНИК<sup>†\*</sup>ПРИРОДНА ЩІЛЬНІСТЬ КОМПОНЕНТІВ СТОВБУРІВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L.  
В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Проаналізовано експериментальні дані модельних дерев робінії псевдоакації з тимчасових пробних площ у Північному Степу України. Визначено показники середньої природної щільності деревини стовбурів, кори та деревини стовбурів у корі робінії псевдоакації. Проведено статистичний аналіз і проаналізовано відповідність основних таксаційних ознак і значень щільності закону нормального розподілу. Здійснено пошук кореляційних зв'язків середньої природної щільності компонентів фітомаси стовбурів із таксаційними показниками дерев. Встановлено, що природна щільність деревини і деревини у корі з віком, діаметром і висотою дерев має прямий, а природна щільність кори – обернений зв'язок. Запропоновано математичні моделі для оцінювання середньої природної щільності компонентів фітомаси стовбурів робінії.

Ключові слова: *Robinia pseudoacacia* L.; фітомаса компонентів стовбура дерева; таксаційні показники; кореляційний зв'язок.

**Вступ.** Дослідження біологічної продуктивності, екологічного та енергетичного потенціалу деревостанів лісоутворювальних порід передбачає оцінювання якісних ознак компонентів фітомаси дерев, які детерміновані спадковими програмами рослинного організму та впливом абіотичних і біотичних чинників середовища їхнього росту.

Якісні ознаки фітомаси є предметом значної кількості досліджень. Щільність деревини лісоутворювальних порід у різних природних зонах України вивчали П. І. Лакида та науковці його школи (Lakyda 2002, Lakyda & Blishhik 2010, Lakyda et al. 2010). Сучасні закордонні дослідження щільності деревини як показника якості фітомаси є різноспрямованими. G. Giroud зі співавторами оцінювали регіональні відмінності щільності деревини головних бореальних хвойних і листяних деревних порід у лісах Канади (Giroud et al. 2017). A. Fajardo (2016) досліджував варіації щільності деревини в локальних популяціях двох видів дерев, що ростуть у лісових насадженнях Патагонії. Н. Pereira вивчав поздовжні й радіальні зміни щільності деревини і механічних властивостей *Acacia metaxylon* R. Br. у лісах Португалії (Pereira 2014). Н. Huong зі співавторами досліджували щільність деревини як інформативну характеристику під час вибору головних і супутніх порід для закладання мішаних за складом лісових плантацій на Філіппінах (Huong et al. 2014).

Е. Nogueira зі співавторами запропонували регресійні моделі як альтернативний спосіб отримання значень базисної щільності деревини безпосередньо під час здійснення натурних досліджень у лісах центральної Амазонії (Каліфорнія) (Nogueira et al. 2008).

Під час проведення досліджень біологічної продуктивності за компонентами фітомаси та депонованого вуглецю у робінієвих деревостанах оцінювання стану та динаміки якісних ознак компонентів фітомаси дерев є невід'ємним завданням, вирішення якого дасть можливість опрацьовувати екологічні, лісівничі та енергетичні питання.

У різних природних зонах України вивчено щільність деревини достатньої кількості лісоутворювальних порід: сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), ялиці білої (*Abies alba* Mill.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.), ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.), вільхи клейкої (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.), осики (*Populus tremula* L.). Щільність компонентів надземної фітомаси робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) в Україні не досліджено. Найбільша кількість площі робінієвих деревостанів у країні зосереджена в Степовій зоні. У лісах Північного Степу, що підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів і входять до структури Дніпропетровського обласного управління лісового і мисливського господарства, деревостани *Robinia pseudoacacia* займають площу 17 683,7 га, або 26,9 % від площі вкритих лісовою рослинністю земель (Lakyda & Sytnyk 2014).

<sup>†</sup> Науковий консультант – д-р с.-г. наук, проф. П. І. Лакида

\* © С. А. Ситник, 2017

*Мета дослідження* – встановити показники середньої природної щільності компонентів фітомаси стовбурів робінії псевдоакації у лісових насадженнях Північного Степу України.

**Матеріали й методи.** Дослідження проводили на території Північного (байрачного) Степу України. Загальна площа Північного Степу – близько 140 тис. км<sup>2</sup>, або 23 % території України. Особливостями природних умов регіону є посушливий клімат і недостатнє зволоження. Середньорічна кількість опадів становить 430–500 мм. Випаровування удвічі перевищує кількість опадів. Середньомісячна температура січня – -7,5°С, а липня – +21,5°С (Furdychko et al. 2006). На півночі регіону поширені чорноземи звичайні середньо- та малогумусні, а в центральній його частині – чорноземи південні малогумусні, які змінюються вузькою смугою південних солонцюватих чорноземів. Північний Степ України – найбільш лісодефіцитний район України, загальна лісистість – 4,8 %, забезпеченість лісовим фондом – 0,035 га лісовкритої площі на 1 людину.

Пробні площі закладали з урахуванням стандартизованих вимог SOU 02.02-37-476. Було закладено двадцять тимчасових пробних площ (ТПП), на яких досліджували природну щільність компонентів надземної фітомаси робінієвих деревостанів. ТПП закладено в чистих та мішаних насадженнях, у різних вікових групах лісостанів. Досліджувані насадження належали до I та II класів бонітету та росли у найбільш поширених для Північного Степу типах лісорослинних умов: сухих (C<sub>1</sub>) і свіжих (C<sub>2</sub>) сугрудах та сухих грудах (D<sub>1</sub>).

У процесі дослідження на кожній ТПП було зрубано й обміряно 20 модельних дерев (МД), визначено їхні таксаційні показники. Вік МД становив від 3 до 89 років. Відповідно до методики П. І. Лакиди, для оцінювання щільності деревини стовбурів на модельних деревах випилювали дослідні зрізи деревини на пні, на висоті 1,3 м та на відносних висотах стовбура (0,25h; 0,5h; 0,75h) (Lakyda 2002). Опрацьовано 180 зрізів стовбурів модельних дерев робінії. Природну щільність деревини визначали як відношення маси зразка у свіжозрубаному стані до його об'єму у свіжозрубаному стані.

**Результати та обговорення.** Для аналітичного оцінювання вихідних даних було проведено статистичний аналіз. Отримані статистики середньої природної щільності деревини стовбурів (*Pd*), середньої природної щільності кори стовбурів (*Pk*), середньої природної щільності деревини стовбурів у корі (*Pd + k*), а також таксаційних параметрів модельних дерев робінії псевдоакації: віку (*a*), діаметра (*d<sub>1,3</sub>*), висоти (*h*) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Основні статистики таксаційних показників дерев робінії псевдоакації та середньої природної щільності стовбурів**

Ознака	Значення		Статистики			
	мінімальне	максимальне	Середнє	Стандартне відхилення	Асиметрія	Ексцес
<i>a</i> , років	3,0	89,0	40,8	23,2	0,514	-0,437
<i>d<sub>1,3</sub></i> , см	4,5	28,6	16,6	7,1	-0,256	-0,850
<i>h</i> , м	5,3	22,7	14,0	5,2	-0,380	-0,628
<i>Pd</i> , кг·(м <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	721,0	916,0	835,1	55,3	-0,645	-0,481
<i>Pk</i> , кг·(м <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	318,0	733,0	530,9	111,7	0,113	-0,640
<i>Pd + k</i> , кг·(м <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	643,0	890,0	771,1	66,1	-0,329	-0,694

За даними літератури (Yantsev 2012), для вибірки об'ємом у 21 одиницю критичне значення показника асиметрії *A* дорівнює 0,711 (*p* ≤ 0,05), ексцесу *E* – 0,907 (*p* ≤ 0,01). Сукупності даних, що характеризують досліджувані нами показники, відповідають вимогам нормального розподілу, оскільки отримані нами значення асиметрії та ексцесу є нижчими за вищенаведені теоретичні.

Розподіл таких показників, як діаметр, висота дерев, середня природна щільність деревини та середня природна щільність деревини у корі, характеризується від'ємним значенням асиметрії, що свідчить про зсув кривої розподілу за цими ознаками ліворуч.

Екссес має виключно від'ємні значення, що демонструє плосковершинність кривої розподілу.

Біологічним об'єктам властиві взаємозв'язки між окремими ознаками, тому наявність, напрям та силу зв'язку природної щільності компонентів фітомаси стовбурів з основними таксаційними показниками дерев робінії псевдоакації встановлювали за допомогою кореляційного аналізу (табл. 2).

Таблиця 2

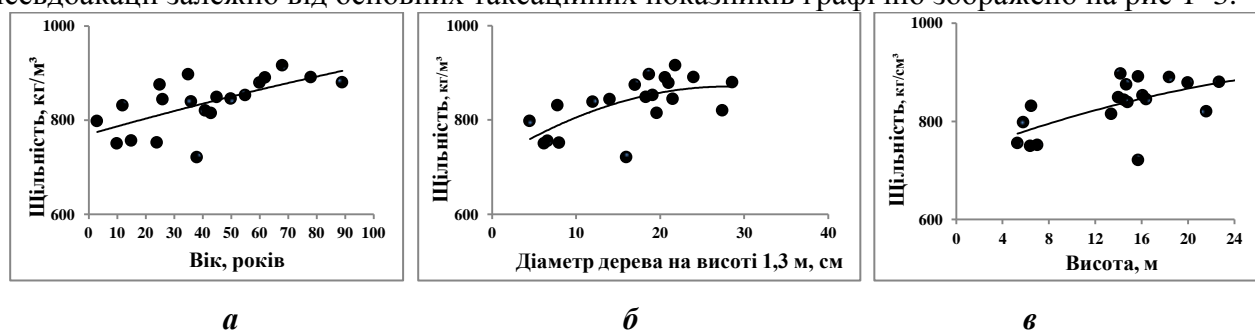
**Коефіцієнти кореляції середньої природної щільності з таксаційними показниками дерев робінії псевдоакації**

Показник	Середня природна щільність компонентів стовбура		
	Деревина	Кора	Деревина у корі
$a$ , років	+0,64	-0,28	+0,56
$d_{1,3}$ , см	+0,63	-0,20	+0,57
$h$ , м	+0,60	-0,14	+0,59

Достовірність отриманих коефіцієнтів кореляції оцінювали за теоретичними стандартними коефіцієнтами кореляції. Число ступенів свободи  $n$  у наших дослідженнях дорівнювало 20. У разі зазначеної кількості ступенів свободи стандартний достовірний коефіцієнт кореляції за Л. С. Камінським дорівнює 0,444. Достовірним вважається такий коефіцієнт кореляції, який дорівнює або є більшим за табличний для ступеня безпомилкового прогнозу  $p \geq 95\%$ .

Для оцінювання сили кореляційного зв'язку використовували загальноприйнятій критерій Чеддока, згідно з якими абсолютне значення коефіцієнта кореляції менше ніж 0,3 свідчить про слабкий зв'язок, значення від 0,3 до 0,7 – про зв'язок середньої сили та значення більше за 0,7 – про сильний зв'язок. За даними кореляційного аналізу можна констатувати, що середня природна щільність деревини та деревини у корі робінії псевдоакації має достовірний прямий середньої сили зв'язок з основними таксаційними показниками дерев – віком, діаметром та висотою. Середня природна щільність кори характеризується оберненим зв'язком слабкої сили і достовірно не є залежною від жодного з досліджуваних біометричних параметрів дерев.

Розподіл середньої природної щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев робінії псевдоакації залежно від основних таксаційних показників графічно зображено на рис 1–3.



**Рис. 1 – Залежність середньої природної щільності деревини стовбура робінії псевдоакації від віку (а), діаметра дерев на висоті 1,3 м (б), висоти (в)**

Значення середньої природної щільності компонентів фітомаси стовбурів модельних дерев робінії псевдоакації мають незначну дисперсію відносно ліній тренду.

За даними, що наведені на рис. 1, середня природна щільність деревини характеризується типом, що наростає з віком, діаметром на висоті 1,3 м та висотою модельних дерев. Максимальне значення природної щільності деревини відповідає дереву з перестиглої вікової групи, віком 38 років, діаметром 16,0 см та висотою 15,7 м; мінімальне значення цього показника зафіксовано для трирічного екземпляра робінії висотою 5,8 м та

4,5 см у діаметрі. За даними літератури (Syevyurov 2014), показник щільності деревини твердолистяних порід знаходиться у таких діапазонах: дуб –  $690\text{--}1030 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ ; ясен –  $520\text{--}950 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ ; акація –  $580\text{--}850 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ . Таким чином, визначена нами природна щільність деревини робінії псевдоакації варіює з 921 до  $728 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ , середнє значення дорівнює  $835 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ , що є вищими показниками, ніж ті, що зазначені у літературі. Це можна пояснити тим, що досліджувана деревина сформувалася в Степовій зоні, де лімітуючим абіотичним чинником є дефіцит вологи. Відомим є твердження, що деревина з посушливих регіонів має більшу щільність, ніж деревина, що сформована в умовах нормального та надмірного зволоження.

Середня природна щільність кори стовбурів робінії має значну дисперсію. Різниця між максимальним абсолютним значенням природної щільності кори ( $633 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ ) та мінімальним значенням ( $387 \text{ кг}\cdot(\text{м}^3)^{-1}$ ) становить 61,1 %. Значна дисперсія значень природної щільності кори визначена для вікової групи молодняків та середньовікових дерев. Загалом середня природна щільність кори робінії має тенденцію до зменшення з віком, діаметром дерев на висоті 1,3 м та висотою дерев (рис. 2).

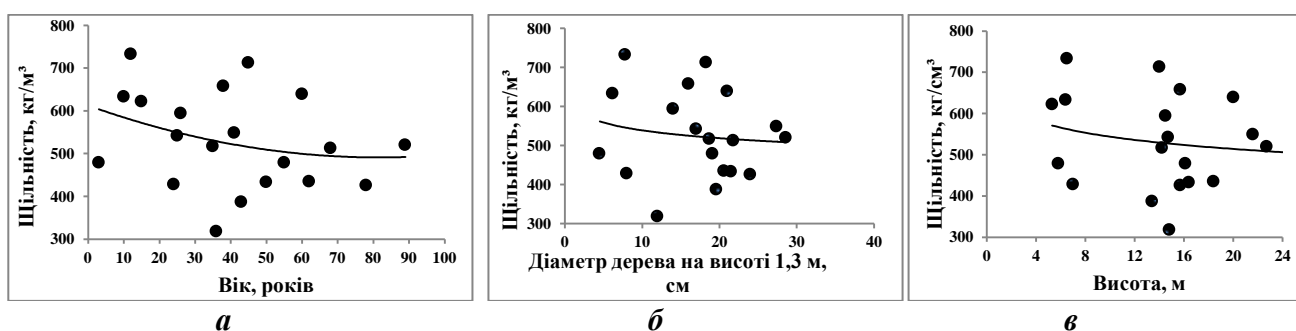


Рис. 2 – Залежність середньої природної щільності кори стовбура робінії псевдоакації від віку (а), діаметра дерев на висоті 1,3 м (б), висоти (в)

Відзначено збільшення трендів залежності середньої природної щільності деревини у корі від таксаційних параметрів дерев робінії (рис. 3). Враховуючи достатню однорідність дослідних даних за бонітетом та типом лісорослинних умов, на основі отриманих даних проведено пошук математичних моделей оцінювання середньої природної щільності деревини стовбурів залежно від таксаційних параметрів дерев (табл. 3).

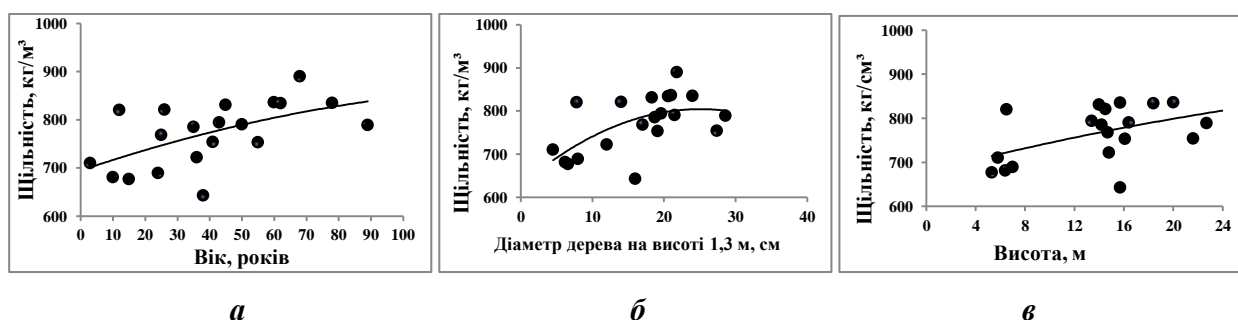


Рис. 3 – Залежність середньої природної щільності деревини у корі стовбура робінії псевдоакації від віку (а), діаметра дерев на висоті 1,3 м (б), висоти (в)

Для середньої природної щільності зафіксовано високу мінливість показників, що узгоджується з результатами інших дослідників, які виявили високу дисперсію значень цього показника для таких деревних порід, як *Populus tremula* L., *Fraxinus excelsior* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gberth. (Lakyda & Blyshchyk 2010, Lakyda et al. 2010).

Результати наших досліджень певною мірою узгоджуються з висновками О. І. Полубояринова і В. А. Усольцева у тому, що вік дерева є найбільш інформативним чинником, який визначає щільність деревини стовбурів (Poluboyarinov 1976, Usoithev1985). У наших дослідженнях вік і діаметр також визначаються як домінуючі фактори.

**Моделі для оцінювання природної щільності компонентів стовбура робінії псевдоакації**

Номер моделі	Вид моделі	Коефіцієнт детермінації
<i>Для деревини</i>		
1	$Pd = 670,91 \cdot d^{0,081}$	0,41
2	$Pd = 745,96 \cdot a^{-0,030} \cdot \exp(0,005d)$	0,40
3	$Pd = 762,05 \cdot \exp(0,001a) \cdot \exp(0,0203d) \cdot \exp(-0,0001h)$	0,43
<i>Для деревини у корі</i>		
4	$Pdk = 597,95 \cdot d^{0,039}$	0,33
5	$Pdk = 708,12 \cdot \exp(0,002a)$	0,31

На жаль, відсутні дані середньої щільності компонентів надземної фітомаси робінії, яка росте в лісових насадженнях інших природних зон України. Це унеможливило порівняння отриманих нами результатів досліджень, проведених у лісостанах Північного Степу України.

**Висновки.** Природна щільність деревини і деревини у корі стовбурів робінії псевдоакації з віком, діаметром на висоті 1,3 м і висотою дерев має прямий, а природна щільність кори – обернений зв'язок. Зі збільшенням віку, діаметра і висоти дерев значення природної середньої щільності деревини стовбурів і деревини стовбурів у корі підвищується, тоді як середня щільність кори стовбурів не виявляє кореляційного зв'язку з таксаційними показниками дерев і є нижчою за щільність деревини.

Середня природна щільність деревини стовбурів дорівнює  $835 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ , кори стовбурів –  $530 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ , деревини стовбурів у корі –  $771 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ .

Виявлені особливості досліджуваних показників природної щільності стовбурів робінії псевдоакації можуть бути враховані під час визначення динаміки надземної фітомаси, розрахунків обсягів депонування робінієвими насадженнями вуглецю та розроблення заходів, спрямованих на регуляцію екологічних функцій лісів у Степовій зоні України.

#### ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Fajardo, A. 2016. Wood density is a poor predictor of competitive ability among individuals of the same species. *Forest Ecology and Management*, 372: 217–225.
- Furdychko, O. I., Gladun, H. B., Lavrov, B. B. 2006. Lis u Stepu: osnovy staloho rozvytku [Steppe Forest: foundations of sustainable development]. Kyiv, Osnova, 496 p. (in Ukrainian).
- Giroud, G., Begin, J., Defo, M., Ung, C. 2017. Regional variation in wood density and modulus of elasticity of Quebec's main boreal tree species. *Forest Ecology and Management*, 400: 289–299.
- Huong, H., Firm, J., Lamb, D., Herbohn, J. 2014. Wood density: A tool to find complementary species for the design of mixed species plantations. *Forest Ecology and Management*, 334: 106–113.
- Lakyda, P. I. 2002. Fitomasa lisiv Ukraïni [Phytomass of forests of Ukraine]. Ternopil, Zbruch, 256 p. (in Ukrainian).
- Lakyda, P. I., Bilous, A. M., Vasilishin, R. D. 2010. Osichni Shidnogo Polissja Ukrayini – nadzemna fitomasa ta deponovanyj vuglets [Aspen forests of Eastern Polissya of Ukraine – the aboveground phytomass and deposited carbon]. Korsun-Shevchenkivskyy, FOP Maydachenko I. S., 255 p. (in Ukrainian).
- Lakyda, P. I. and Blyshchuk, I. V. 2010. Fitomasa vilshnjakiv Zahidnogo Polissja Ukrayini [Phytomass of alder stands of Western Polissya of Ukraine]. Korsun-Shevchenkivskyy, FOP Maydachenko I. S., 237 p. (in Ukrainian).
- Lakyda, P. I. and Sytnyk S. A. 2014. Osoblyvosti taksatsiynoyi struktury derevostaniv robiniyi nespravzhnyoakatsiyi Prydniprov's'koho Pivnichnogo Stepu Ukrayiny [Peculiarities of forest inventory structure of black locust stands in Northern Steppe in Dnieper region of Ukraine]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya [Forestry and Forest Melioration]*, 125: 25–31 (in Ukrainian).
- Nogueira, E., Fearnside, Ph., Nelson, B. 2008. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 990–996.
- Pereira, H. 2014. Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). *Materials & Design*, 56: 975–980.
- Poluboiarinov, O. I. 1976. Plotnost' drevesyny [Wood density]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 160 p. (in Russian).

Syevyzerov, N. A. 2014. Fizychni vlastyivosti derevyny: metodychni vkazivky dlya studentiv spetsial'nosti 250401 «Lesoinzhenерна sprava» [Physical properties of wood: methodical instructions for students of the specialty 250401 «Forestry»]. Ukhta, UHTU, 61 p. (in Ukrainian).

Usoltsev, V. A. 1990. Rost i struktura fyptomassy drevostoev [Growth and structure of stand phytomass]. Novosibirsk, Nauka, 253 p. (in Russian).

Yantsev, A. V. 2012. Vybory statystycheskykh kryteryev [Selection of statistical criteria]. Simferopol', izdatel'stvo TNU, 136 p. (in Russian).

Sytnyk S. A.

NATURAL DENSITY OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. TRUNK PHYTOMASS IN THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

*Dniprovsky State Agrarian and Economic University*

The experimental data of model tree from temporal plots in the Northern Steppe of Ukraine were analyzed. The indexes of the average natural density of wood, bark, and wood in the bark trunks of black locust trees were determined. The statistical analysis is carried out and the compliance of the main biometric characteristics and the investigated density indicators with the normal distribution law was analyzed. In the course of statistical analysis, it was determined that the natural wood density and natural density of wood in the bark have the direct correlation with tree age, diameter and height, and natural bark density – the inverse correlation. The mathematical models were proposed for the estimation of the average natural density of the phytomass components of black locust trunks.

**Key words:** *Robinia pseudoacacia* L., trunk phytomass, mensuration indices, correlation.

Сытник С. А.

ПРИРОДНАЯ ПЛОТНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ФИТОМАССЫ СТВОЛОВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. В СЕВЕРНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет*

Проанализированы экспериментальные данные модельных деревьев робинии псевдоакация, произрастающих в Северной Степи Украины. Определены показатели средней природной плотности древесины стволов, коры и древесины стволов в коре робинии псевдоакация. Проведен статистический анализ и проанализировано соответствие основных таксационных признаков и исследуемых показателей закону нормального распределения. Проведен поиск корреляционных связей средней природной плотности компонентов фитомассы стволов с таксационными показателями деревьев. Установлено, что естественная плотность древесины и древесины в коре с возрастом, диаметром на высоте 1,3 м и высотой деревьев имеет прямую, а средняя плотность коры – обратную связь. Предложены математические модели для оценки средней плотности компонентов фитомассы стволов робинии.

**Ключевые слова:** *Robinia pseudoacacia* L., фитомасса компонентов ствола дерева, таксационные показатели, корреляционная связь.

*E-mail:* Sytnyk\_Svit@ua.fm

*Одержано редколегією 25.05.2017*