



**В. П. ТКАЧ, О. М. ТАРНОПІЛЬСЬКА, С. В. ІЛЬЧЕНКО, П. Б. ТАРНОПІЛЬСЬКИЙ,  
О. В. КОБЕЦЬ, В. А. ЛУК'ЯНЕЦЬ, М. Г. РУМ'ЯНЦЕВ**

**ВПЛИВ РЕЖИМІВ ВИРОЩУВАННЯ ШТУЧНИХ НАСАДЖЕНЬ  
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА ЯКІСНІ ОЗНАКИ КОМПОНЕНТІВ  
ФІТОМАСИ СТОВБУРА В ЛІВОБЕРЕЖНІЙ ЧАСТИНІ  
ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

*Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*

Досліджено якісні показники фітомаси компонентів стовбура (локальну та середню природну й базисну щільності деревини, деревини в корі та кори) штучних насаджень сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) різних режимів вирощування в лівобережній частині Північного Степу. Виявлено, що проведення рубок догляду сильної інтенсивності незначно вплинуло на показники локальної базисної щільності деревини: різниця між ними для густих і менш густих насаджень у межах одного екотопу на всіх відносних висотах є несуттєвою. Водночас суттєво більшим є показник середньої базисної щільності деревини в сухому бору, порівнюючи зі свіжим субором: у густих насадженнях – на 18,4 %, у менш густих – на 8,2 %. У степових посушливих кліматичних умовах України в сухому бору та свіжому суборі в штучних насадженнях сосни не виявлено суттєвого впливу інтенсивності рубок догляду на якість деревини сосни.

**К л ю ч о в і с л о в а :** *Pinus sylvestris* L., рубки догляду, інтенсивність рубки, природна щільність, базисна щільність, деревина, кора, деревина в корі.

**Вступ.** Серед важливих лісогосподарських заходів, які впливають на зміну фітомаси деревостанів та акумуляцію в них вуглецю, є рубки догляду. Питання щодо впливу рубок догляду в насадженнях на якість деревини завжди були актуальними в лісівничій практиці. Ефективність рубок догляду має визначатися не лише кількісними показниками поточного приросту деревини, але й якісними змінами, які відбуваються в лісових насадженнях після проведення в них таких рубок (Ryabokon 2010).

Дослідженню динаміки якісних показників деревини хвойних порід під впливом лісогосподарських доглядів присвячено низку робіт вітчизняних і закордонних авторів (Ryabokon 1990a, 1990b, Morling & Valinger 1999, Downes et al. 2002, Ryabokon 2010, Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012, Pasternak et al. 2014, Lovynska 2018). Однією з найбільш досліджених властивостей деревини є її щільність. Щільність відбиває основні фізичні й механічні властивості деревини та характеризує її масу, яка є фактором якості деревних матеріалів. Показник щільності деревини є однією з основних характеристик під час проведення обліку поглинання вуглецю лісами (Matthews 1993, Kimberley et al. 2015).

Дослідження якості деревини хвойних порід свідчать, що під впливом доглядів щільність деревини переважно зменшується (Pape 1999, Downes et al. 2002, Jaakkola et al. 2006, Peltola et al. 2007, Jyske 2008, Krajnc et al. 2019). Ці зміни є наслідком формування ширших річних шарів у результаті прискореного росту після зрідження (Candel-Pérez et al. 2018). Проте в деяких випадках рубки догляду не призводили до зменшення щільності деревини, навіть у разі зменшення кількості річних шарів у перерахунку на 1 см (Ryabokon 2010, Vincent et al. 2011). Вчені пов'язують це з тим, що якісні характеристики деревини сосни більшою мірою залежать від частки пізньої ксилеми в річному прирості, а не від ширини річного кільця (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010). Такі суперечливі результати отримано внаслідок того, що на щільність деревини впливають багато чинників: клімат, родючість ґрунтів, густина та вік насадження тощо (Deng et al. 2014, Kimberley et al. 2015, Wasik et al. 2015). Результати досліджень (Deng et al. 2014, Kovalska 2017) свідчать, що вік дерева є найважливішим показником, який визначає щільність деревини стовбурів. У роботі (Zeller et al. 2017) зазначено, що в мішаних насадженнях сосни звичайної, порівнюючи з монокультурами, ширина річних кілець виявилася на 14 % більшою, а щільність деревини – на 12 % меншою.

В умовах півдня Італії, використовуючи неруйнівний акустичний метод досліджень, вивчали вплив інтенсивності проріджування насаджень сосни калабрійської (*Pinus nigra*

Arnold subsp. *calabrica*) на щільність деревини та динамічний модуль пружності (Russo et al. 2019). Зразки було відібрано в деревостанах, де проводили рубки різної інтенсивності (без проріджування, з інтенсивністю зріджування 25, 50 та 75 % за кількістю дерев), 11 років потому. Найкращою виявилася якість деревини в деревостанах після проведення в них рубки з інтенсивністю 25 % (Russo et al. 2019).

Більшість досліджень щодо визначення якісних показників компонентів фітомаси стовбура стосуються переважно деревостанів різних складу, віку та походження. Натомість результати вивчення якості деревини у зв'язку з проведенням рубок догляду сильної інтенсивності в різних типах лісорослинних умов (ТЛУ) у штучних деревостанах сосни звичайної на тривалих стаціонарних дослідних об'єктах наведено лише в окремих наукових працях (Ryabokon 1990a, 1990b, 2010, Tkach et al. 2014). Водночас таке зіставлення результатів досліджень становить значний науковий і практичний інтерес, оскільки дає змогу отримати якісні характеристики одновікових деревостанів у різних ТЛУ за показниками біопродуктивності, а також оцінити ступінь використання екологічного потенціалу умов місцевиростання за річною продукцією деревостанів, в яких проводили рубки догляду, порівнюючи з деревостанами без лісогосподарського втручання.

*Метою досліджень* є визначення впливу рубок догляду сильної інтенсивності селективним і лінійно-селективними способами на показники локальної та середньої природної й базисної щільностей деревини, деревини в корі та кори стовбурів у штучних насадженнях сосни звичайної в різних лісорослинних умовах на стаціонарних дослідних об'єктах у лівобережній частині Північного Степу України.

**Матеріали й методи.** Дослідження проведено в середньовікових штучних соснових насадженнях на двох стаціонарних дослідних об'єктах, закладених в Ізюмському пристеповому бору в північній частині степової зони України на південно-східній межі природного поширення сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

В умовах свіжого субору ( $B_2$ ) дослід закладено під керівництвом старшого наукового співробітника лабораторії лісівництва УкрНДІЛГА канд. с.-г. наук І. Б. Шинкаренко в 1963 р. в 5-річних культурах сосни у кв. 54 Червонооскільського лісництва Державного підприємства (ДП) «Ізюмське лісове господарство» на площі 1,02 га (Shynkarenko & Tsykhotskyi 1979). Культури створено з розміщенням садивних місць  $1,5 \times 0,6-0,7$  м із початковою густрою 9 950 шт.·га<sup>-1</sup>. Дослід складається з кількох варіантів рубок догляду; в презентованій роботі наведено результати аналізу лише найбільш контрастних за густрою деревостанів на двох варіантах із фактичною густрою 1 495 шт.·га<sup>-1</sup> (секція 7) та 707 шт.·га<sup>-1</sup> (секція 8).

На секції 7 у віці деревостанів 22 роки було проведено проріджування слабкої інтенсивності (менше ніж 1 % за запасом), під час якого видаляли лише сухостійні та пригнічені дерева, а у віці 45 років – прохідну рубку слабкої інтенсивності (близько 15 % за запасом).

На секції 8 проведено прочищення лінійно-селективним способом дуже сильної інтенсивності (близько 50 % за запасом) із суцільним видаленням дерев у кожному другому ряду та зріджуванням залишеної частини деревостану в 13 років, а також – проріджування сильної інтенсивності (близько 30 % за запасом) в 22 роки та прохідну рубку сильної інтенсивності (близько 26 % за запасом) у 45 років. Ґрунти на ділянці – дерново-борові повнопрофільні середньорозвинені на давньоалювіальних відкладах, рельєф – рівнинний.

В умовах сухого бору ( $A_1$ ) дослід закладено також І. Б. Шинкаренко в 1966 р. в 7-річних культурах сосни у кв. 23 Червонооскільського лісництва ДП «Ізюмський лісгосп» на площі 3,8 га (Shynkarenko & Tsykhotskyi 1979). Культури створено з розміщенням садивних місць  $2,5 \times 0,3-0,4$  м. У віці 7 років густина культур до рубок становила 12–13 тис. шт.·га<sup>-1</sup>. Дослід містить кілька варіантів рубок догляду, але в цій роботі наведено результати досліджень лише найбільш контрастних за густрою деревостанів на двох з них – із густрою 2 704 шт.·га<sup>-1</sup> (секція 5) та 1 555 шт.·га<sup>-1</sup> (секція 9). На секції 5 проведено одне освітлення

сильної інтенсивності (30 % за запасом) у 7 років, прочищення помірної інтенсивності (17 % за запасом) у 18 років і прохідну рубку слабкої інтенсивності (7 % за запасом) у 41 рік. На секції 8 проведено одне прочищення дуже сильної інтенсивності (42 % за запасом) у 18 років і прохідну рубку сильної інтенсивності (28 % за запасом) у 41 рік. Ґрунти на ділянці – дерново-борові залістисті короткопрофільні та середньопотужні на давньоалювіальних відкладах. Рельєф ділянки – широкохвилястий, різниця між висотними позначками сягає 2,5 м.

Деревостани обстежували через 8 років після проведення в них прохідних рубок.

Лісівничо-таксаційні дослідження проведено за загальноприйнятими методиками (Hrom 2010, Vilous at al. 2021). Стійкість деревостанів до ушкодження вітром, ожеледдю й налипанням мокрого снігу оцінювали за значенням відносної висоти насаджень ( $H/D$ ), яке визначали як відношення середньої висоти ( $H$ , см) до середнього діаметра ( $D$ , см) деревостану (Shinkarenko 1990). Типи лісорослинних умов (ТЛУ) визначали згідно з методикою лісотипологічних досліджень (Vorobyov 1967).

Якісні ознаки стовбурів дерев за компонентами надземної фітомаси аналізували за методикою збору та опрацювання дослідних даних (Lakida & Yudytsky 1993, Lakida 2002). Для оцінювання показників природної та базисної локальної й середньої щільності компонентів фітомаси стовбура (деревини, кори та деревини в корі) на ділянках відбирали модельні дерева сосни звичайної кількістю 4–5 шт. репрезентативно ступеням товщини. Випилювали дослідні зразки деревини завтовшки 2–3 см в окоренковій частині ( $0h$ ) та на різних висотах стовбура ( $h$ ) –  $0,25h$ ,  $0,50h$  та  $0,75h$  (Lakida 2002) і визначали природну та базисну щільність деревини цих зразків. Загалом зрубано й обміряно 25 модельних дерев, проаналізовано понад 120 зразків деревини.

Показники природної та базисної щільності компонентів фітомаси сосни визначали за відповідними формулами (1, 2) (Lakida 2002):

$$p = m_{nat} / v_{nat}, \quad (1)$$

де  $p$  – природна щільність компонента фітомаси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$m_{nat}$  – маса зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані,  $\text{кг}$ ;

$v_{nat}$  – об'єм зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані,  $\text{м}^3$ ;

$$p_1 = m_0 / v_{nat}, \quad (2)$$

де  $p_1$  – базисна щільність компонента фітомаси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$m_0$  – маса зразка в абсолютно сухому стані,  $\text{кг}$ ;

$v_{nat}$  – об'єм зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані,  $\text{м}^3$ .

Значення базисної щільності деревини, на протигагу природній, не залежить від вологості й для певного зразка деревини є постійною величиною.

Визначені показники локальної природної та базисної щільності деревини, кори та деревини в корі використали для розрахунку середньої щільності відповідних компонентів фітомаси стовбурів дерев. Середню щільність деревини та кори стовбурів сосни звичайної обчислили за формулою (3), запропонованою П. І. Лакидою та Я. А. Юдицьким (Lakida & Yudytsky 1993, Lakida 2002), яка дає змогу враховувати локальні особливості зміни щільності вздовж деревного стовбура:

$$P = \frac{7P_0d_0^2 + 32P_{0,25}d_{0,25}^2 + 32P_{0,5}d_{0,5}^2 + 32P_{0,75}d_{0,75}^2}{7d_0^2 + 32d_{0,25}^2 + 12d_{0,5}^2 + 32d_{0,75}^2}, \quad (3)$$

де  $P_0$ ,  $P_{0,25}$ ,  $P_{0,5}$ ,  $P_{0,75}$  – щільність дослідних зрізів на відносних висотах стовбура ( $0h$ ;  $0,25h$ ;  $0,5h$ ;  $0,75h$ );

$d_0, d_{0,25}, d_{0,5}, d_{0,75}$  – діаметри зрізів на цих відносних висотах стовбура.

Природна щільність деревини безпосередньо пов'язана з її вологістю. Такою характеристикою вологості деревини та кори є абсолютна вологість, яку вимірюють у відсотках і визначають за формулою (4) (Lakida 2002, Millers & Magaznieks 2012):

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100, \quad (4)$$

де  $W_a$  – абсолютна вологість, %;

$M_1$  – маса свіжозрубаного зразка, кг;

$M_2$  – маса зразка в сухому стані, кг.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою дисперсійного аналізу ANOVA з використанням критерію достовірної різниці групових середніх за  $U$ -критерієм Манна – Уїтні для малих вибірок, а також кореляційного аналізу (Hammer et al. 2001). Критичний рівень значущості під час перевірки статистичних гіпотез у дослідженні брали рівним 0,05. Для виявлення статистично значущих відмінностей між варіантами використали  $F$ -критерій ANOVA (Hammer et al. 2001).

**Результати та обговорення.** Лісівничо-таксаційні показники соснових насаджень із різними режимами вирощування значною мірою визначаються інтенсивністю зрідження та густотою деревостану. Так, унаслідок проведення прохідної рубки сильної інтенсивності суттєво зменшився запас насаджень, який уже в найближчі роки відновився в результаті інтенсивнішого приросту дерев. Водночас збільшився середній діаметр, а в умовах  $B_2$  – і середня висота деревостану (табл. 1).

Таблиця 1

**Лісівничо-таксаційні показники досліджуваних штучних соснових насаджень**

Варіант досліджу	Інтенсивність прохідної рубки, %	Густота, шт. · га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> · га <sup>-1</sup>	Середні		$H/D$	Сума площ поперечного перерізу, м <sup>2</sup> · га <sup>-1</sup>	Відносна повнота	Клас бонітету	Індекс стану	Поточний приріст, м <sup>3</sup> · га <sup>-1</sup> · (рік) <sup>-1</sup>
				висота, м	діаметр, см						
52-річні насадження, $B_2$											
8 (густиші деревостани)	15	<u>1 495</u> 100	<u>450</u> 100	<u>20,9</u> 100	<u>19,3</u> 100	108	<u>43,8</u> 100	0,96	I <sup>a</sup>	2	9,2
7 (менш густі деревостани)	26	<u>707</u> 47,3	<u>347</u> 77,1	<u>22,9</u> 109,6	<u>24,0</u> 124,4	95	<u>31,9</u> 72,8	0,68	I <sup>a</sup>	2	7,6
51-річні насадження, $A_1$											
5 (густиші деревостани)	7	<u>2 704</u> 100	<u>311</u> 100	<u>15,9</u> 100	<u>13,1</u> 100	121	<u>37,1</u> 100	0,90	II	2	6,3
9 (менш густі деревостани)	28	<u>1 555</u> 57,5	<u>236</u> 75,9	<u>15,9</u> 100,0	<u>15,4</u> 117,6	103	<u>28,9</u> 77,9	0,70	II	2	9,3

*Примітка.* У чисельнику – абсолютне значення, в знаменнику – частка від контролю, %

Результати аналізу впливу різних режимів вирощування соснових насаджень на їхні лісівничо-таксаційні показники свідчать, що в умовах  $B_2$  менш густий деревостан (секція 7), густота якого є меншою на 53 %, ніж густішого (секція 8), характеризується меншими загальним запасом і сумою площ перерізів на 23 і 27 % відповідно і більшими середніми діаметром і висотою на 24 і 10 % відповідно (див. табл. 1). В умовах  $A_1$  густота менш густого деревостану (секція 9) становить близько 58 % відносно густішого (секція 5) і, хоча він поступається цьому варіанту за запасом на 24 %, за площею поперечного перерізу – на 22 %, але перевершує його за середнім діаметром на 18 %. Деревостани з меншою густотою в обох ТЛУ характеризуються значно меншою величиною показника  $H/D$ , критичне значення якого

становить 110. Це свідчить про їхню високу стійкість до таких негативних природних явищ, як налипання мокрого снігу, ожеледь та льодолам (Shinkarenko 1990).

Результати аналізу якісних показників фітомаси стовбура свідчать, що локальна природна щільність деревини, кори та деревини в корі сосни звичайної в межах одного ТЛУ залежить від відносної висоти стовбура (табл. 2, рис. 1).

Таблиця 2

**Локальна природна щільність компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах ( $h$ ),  $\text{кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$**

Варіант досліджу	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h
	Деревина				Деревина в корі				Кора			
<b>B<sub>2</sub></b>												
8 (густіші деревостани)	<b>918</b>	819	792	<b>762</b>	831	806	795	<b>758</b>	<b>384</b>	615	847	724
7 (менш густі деревостани)	<b>995</b>	895	885	<b>982</b>	785	879	877	<b>955</b>	<b>329</b>	657	774	747
<b>A<sub>1</sub></b>												
5 (густіші деревостани)	957	810	813	849	757	819	831	862	392	<b>949</b>	<b>1037</b>	976
9 (менш густі деревостани)	971	849	844	964	795	839	840	947	419	<b>767</b>	808	862

*Примітка.* Жирним шрифтом виділено показники, між якими виявлено суттєву різницю за результатами попарного дисперсійного аналізу Манна – Уїтні ( $p < 0,05$ ) (Hammer et al. 2001).

В окоренковій частині стовбура (0h) на всіх варіантах дослідів показник природної щільності деревини є найбільшим, зменшуючись до висоти 0,25h стовбура, а вище по стовбуру поступово збільшується до верхівки (див. рис. 1). Це узгоджується з результатами досліджень насаджень сосни різного віку в Північному Степу України, в яких В. М. Ловінською виявлено поступове зменшення природної щільності від окоренку до висоти 0,25h стовбура з наступним збільшенням її значення до верхівки (Lovynska 2018). Показник природної щільності кори на окоренковій частині стовбура (0h), навпаки, характеризується найменшим значенням, збільшується до середини стовбура (0,5h) і зменшується у верхній його частині (0,75h).

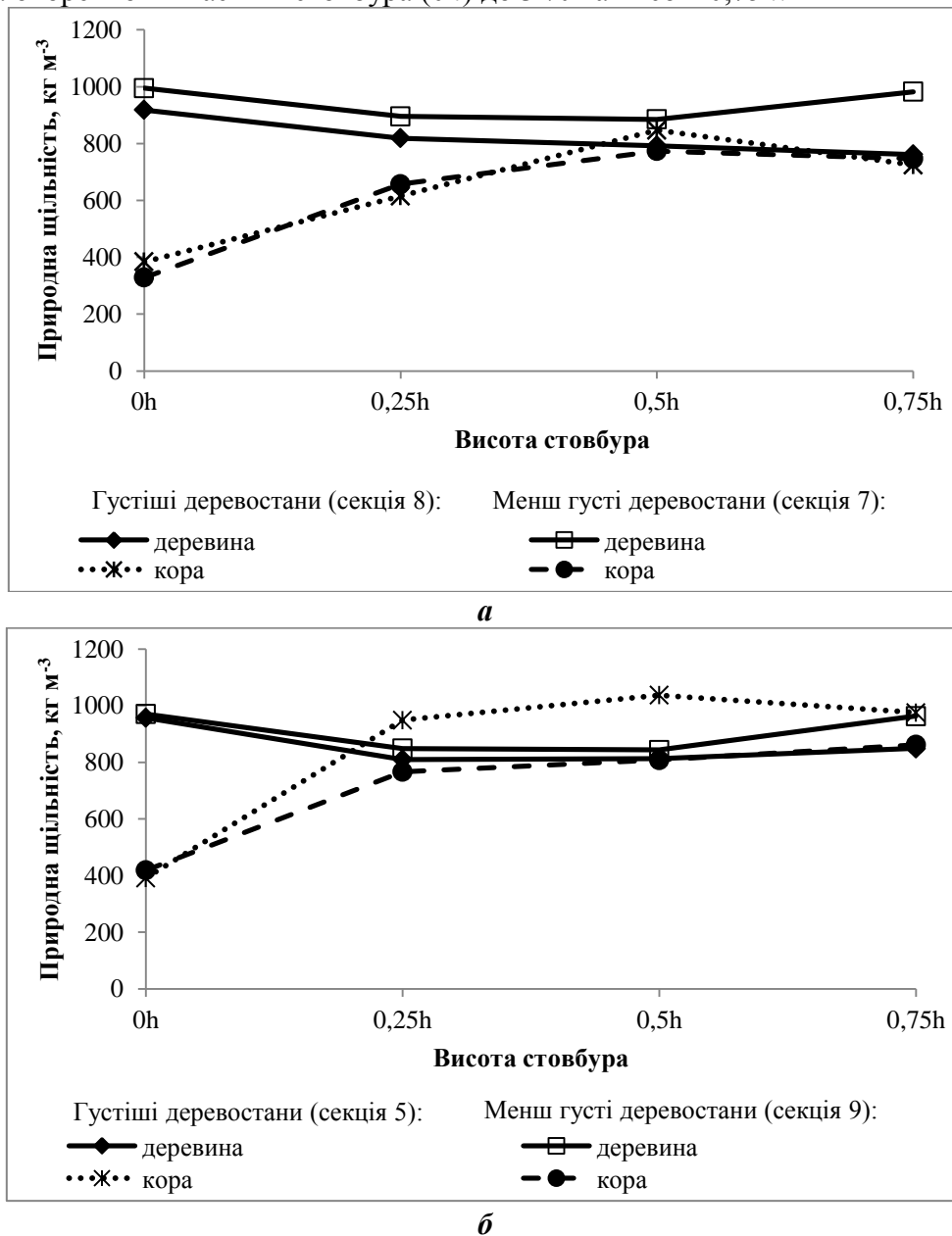
Загалом у менш густих деревостанах природна щільність деревини на всіх відносних висотах стовбура є вищою, ніж у густіших (див. рис. 1). В умовах B<sub>2</sub> зрідження сильної інтенсивності деревостанів суттєвіше вплинуло на природну щільність деревини, ніж в умовах A<sub>1</sub>. Так, у B<sub>2</sub> різниця між показниками природної щільності деревини в менш густому деревостані (секція 8), порівнюючи з густішим (секція 7), збільшується тим більше, чим вищою є висота стовбура: від 8 % на 0h до 22 % – на 0,75h (див. рис. 1, а). В A<sub>1</sub> (секції 5, 9) ця різниця є меншою і статистично недостовірною.

Серед деревостанів, в яких проведено рубки догляду сильної інтенсивності, показник природної щільності деревини в B<sub>2</sub> є несуттєво вищим, ніж в A<sub>1</sub>, на всіх висотних частинах стовбура (див. рис. 1).

Природній щільності кори на всіх варіантах дослідів притаманна значна варіабельність. Це пов'язане з тим, що кора є неоднорідною за структурою та складається з двох шарів: внутрішнього – лубу – й зовнішнього – кірки. Ці шари різняться за будовою, хімічним складом і функціями; тому властивості кори змінюються в значних межах, не підпорядковуючись законам, притаманним ізотропним матеріалам (Lakida 2002). Як в умовах A<sub>1</sub>, так і в B<sub>2</sub> в окоренковій частині природна та базисна щільності кори внаслідок значної частки в ній грубої кірки є суттєво меншими, ніж у середній і верхівковій частинах стовбура (див. рис. 1).

В обох ТЛУ природна щільність кори модельних дерев в усіх досліджуваних варіантах зростає до висоти 0,5h, а на висоті 0,75h – різко зменшується, за винятком варіанту сильного

зріджування в А<sub>1</sub> (секція 9). Рубки догляду сильної інтенсивності в А<sub>1</sub> суттєво вплинули на зменшення природної щільності кори в нижній (0,25h) і серединній (0,5h) частинах стовбура (на 19 і 22 % відповідно) і несуттєво – у верхівковій його частині (на 0,75h – на 12 %). В умовах В<sub>2</sub> відмінність між зміною природної щільності кори вздовж висоти стовбура в густішому та менш густому деревостані є меншою, ніж в А<sub>1</sub> (див. рис. 1). Різниця варіює від 14 % на окоренковій частині стовбура (0h) до 3 % на висоті 0,75h.



**Рис. 1 – Зміна локальної природної щільності компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах: а – свіжий субір (В<sub>2</sub>); б – сухий бір (А<sub>1</sub>)**

Природна щільність кори густіших деревостанів в умовах В<sub>2</sub> (секція 7) на всіх досліджених частинах стовбура є меншою, ніж в А<sub>1</sub> (секція 5) (див. рис. 1). Проте ця відмінність виявилася значущою лише на висоті стовбура 0,25h.

Серед менш густих деревостанів в умовах В<sub>2</sub> (секція 8), порівнюючи з А<sub>1</sub> (секція 9), природна щільність кори також є меншою на всіх відносних висотах стовбура, але ця різниця є статистично недостовірною.

Результати досліджень свідчать, що природна щільність компонентів фітомаси стовбурів значною мірою залежить від показника абсолютної вологості деревини та кори (табл. 3, див. табл. 2, рис. 1).

Таблиця 3

## Середня абсолютна вологість компонентів фітомаси стовбурів деревостанів сосни звичайної

Вік деревостанів, років	ТЛУ	Вологість, %		
		Деревина	Кора	Деревина в корі
Густіші деревостани				
52	B <sub>2</sub>	100,7	153,3	104,8
51	A <sub>1</sub>	76,0	72,9	75,7
Менш густі деревостани				
52	B <sub>2</sub>	116,2	152,8	139,3
51	A <sub>1</sub>	87,8	66,3	85,2
За даними П. І. Лакіди, Українське Полісся (Lakida et al. 2011)				
9–91	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>2</sub>	112,9	108,7	113,7
За даними Miller M., Magaznieks, Латвія (Millers & Magaznieks 2012)				
37–70	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub>	108,4	156,0	110,5
71–146	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub>	90,6	119,4	92,9

Уміст води в деревині та корі стовбурів змінюється протягом року й залежить від низки біотичних та абіотичних чинників, типу лісорослинних умов, густоти й породного складу деревостанів тощо. Вологість фітомаси компонентів стовбура пов'язана з низкою чинників і різниться залежно від породи, часу доби, пори року, погодних умов тощо (Kovalska 2017).

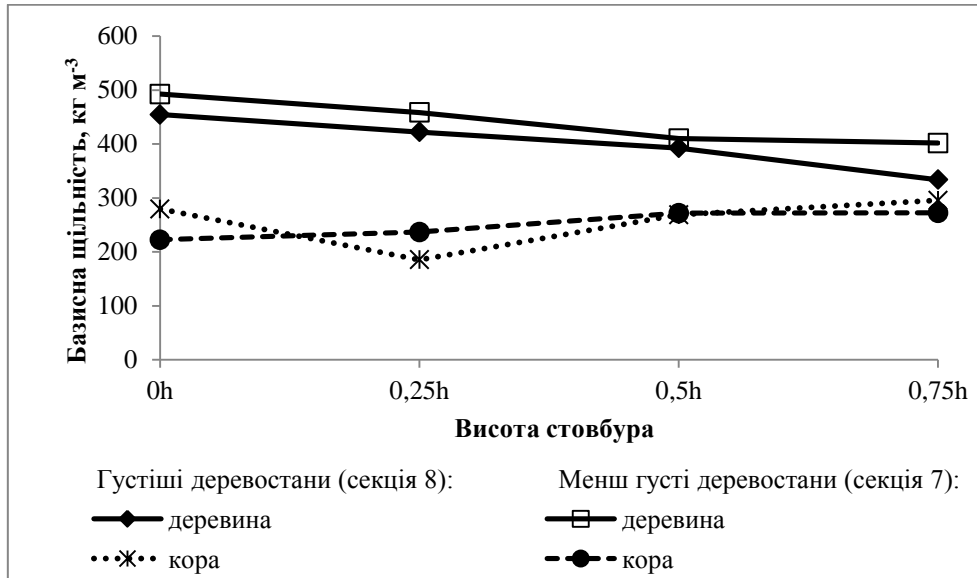
Між вологістю фітомаси компонентів стовбура й погодними характеристиками (середня, максимальна, мінімальна температури, середня швидкість вітру, максимально стійка швидкість вітру, загальна кількість опадів та/або сніготанення) виявлено дуже тісну обернену кореляційну залежність ( $r = 0,84-0,99$ ).

Пряму дуже тісну кореляційну залежність визначено між середньою відносною вологістю повітря та вологістю фітомаси компонентів стовбура ( $r = 0,85-0,98$ ). Найтіснішу кореляційну залежність виявлено між погодними умовами й вологістю кори дерева ( $r > 0,90$ ).

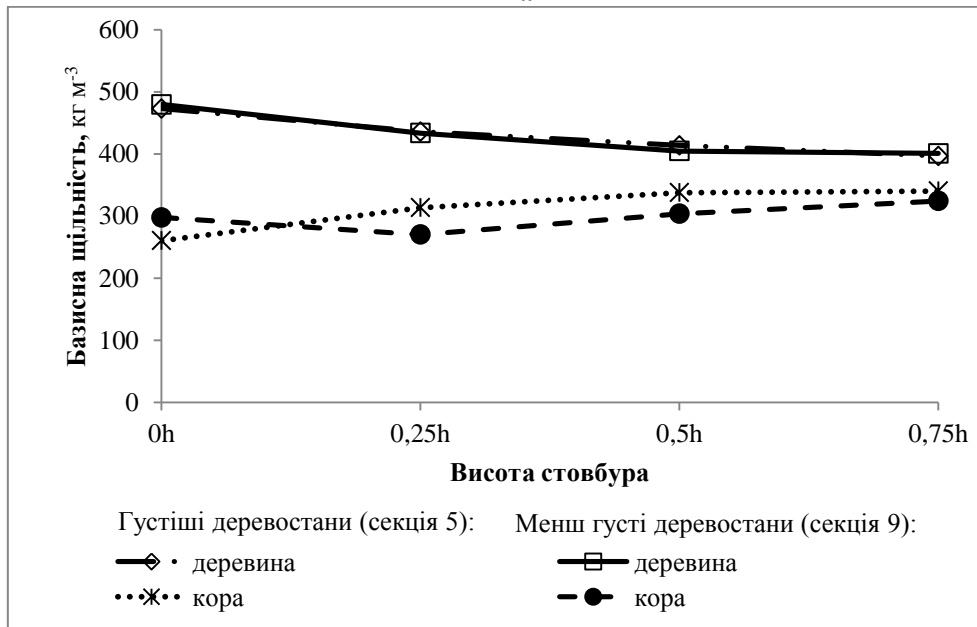
Абсолютна вологість деревини, кори та деревини в корі є більшою в умовах B<sub>2</sub>, ніж в A<sub>1</sub> (див. табл. 3). Водночас в обох ТЛУ в менш густих насадженнях вологість деревини і деревини в корі є вищою, ніж у густіших. Це пов'язане з більшим накопиченням вологи в ширших кільцях деревини у менш густих деревостанах. Вологість кори в менш густих деревостанах є дещо меншою, порівнюючи з густішими, внаслідок кращого випаровування вологи з кори в них.

Отримані нами дані щодо вологості компонентів стовбура хоча і є близькими до результатів, отриманих іншими дослідниками в Українському Поліссі та Латвії (Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012) (див. табл. 3), проте мають певні особливості.

Зважаючи на значну залежність природної щільності компонентів стовбура від багатьох чинників, важливе практичне значення має базисна щільність (Lakida 2002). Особливості зміни базисної щільності деревини в різних частинах стовбура та різних варіантах дослідів є подібними (рис. 2). Зміна локальної базисної щільності деревини стовбурів сосни загалом має спадний характер у міру збільшення висоти стовбура. В умовах B<sub>2</sub> показник базисної щільності деревини на всіх частинах стовбура в менш густих насадженнях (секція 8) є вищим, ніж у густіших (секція 7), на 8–25 % (табл. 4, рис. 2, а).



*a*



*б*

**Рис. 2 – Зміна локальної базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах: *a* – свіжий субір ( $B_2$ ); *б* – сухий бір ( $A_1$ )**

*Таблиця 4*

**Локальна базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах стовбура ( $h$ ),  $кг \cdot м^{-3}$**

Варіант досліджу	ТЛУ	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h
		Деревина				Деревина в корі				Кора			
8 (густіші деревостани)	$B_2$	455	422	393	334	430	408	385	331	280	185	269	295
7 (менш густі деревостани)	$B_2$	492	458	410	402	408	443	400	387	222	237	272	272
5 (густіші деревостани)	$A_1$	473	436	414	397	396	426	407	389	260	313	338	340
9 (менш густі деревостани)	$A_1$	480	434	405	401	420	419	396	390	298	270	304	324



В умовах  $A_1$ , на відміну від  $B_2$ , особливості зміни базисної щільності деревини в густішому (секція 5) і менш густому (секція 9) деревостанах є подібними вздовж всієї висоти стовбура і статистично не різняться (див. табл. 4, рис. 2, б).

Серед густіших насаджень базисна щільність деревини стовбурів в  $A_1$  (секція 5) є більшою, ніж в  $B_2$  (секція 7), на 4–26 %, хоча це в усіх випадках статистично не підтверджено (див. табл. 4). У насадженнях, в яких проводили рубки догляду сильної інтенсивності, дещо більшою (на 1–5 %) є базисна щільність деревини в  $B_2$  (секція 8), порівнюючи з  $A_1$  (секція 9) (див. табл. 4, рис. 2). Показники базисної щільності деревини стовбурів зі збільшенням висоти рівномірно зменшуються. Отримані нами результати щодо зміни локальної щільності деревини сосни на різних висотах деревного стовбура узгоджуються з даними П. І. Лакиди (2002), В. П. Пастернака та ін. (2014) як для природної, так і для базисної щільності.

Зміна локальної базисної щільності кори в усіх досліджених варіантах має тенденцію до зростання зі збільшенням висоти стовбура, набуваючи максимальних значень на позначці  $0,75h$  (див. табл. 4, рис. 2). Це пов'язане з тим, що в окоренковій частині соснових стовбурів, порівнюючи з середньою та верхівковою частинами, щільність кори є меншою унаслідок її більшої товщини та пористості. В обох ТЛУ особливості зміни базисної щільності кори в густішому й менш густому деревостанах є подібними. В умовах  $B_2$  рубки догляду сильної інтенсивності (секція 8) суттєво вплинули на зменшення базисної щільності кори лише в окоренковій частині стовбура (на 21 %, порівнюючи з густішим деревостаном (секція 7)). В умовах  $A_1$  цей вплив виявився несуттєвим.

Виявлено, що серед густіших деревостанів в умовах  $B_2$  локальна базисна щільність кори є суттєво вищою, ніж в  $A_1$ , лише на висоті стовбура  $0,25h$ , а на інших висотах цей показник майже не відрізняється (див. табл. 2, рис. 2).

Зміна базисної щільності кори в менш густих деревостанах відрізняється характерними особливостями в різних ТЛУ. В умовах  $A_1$ , на відміну від  $B_2$ , щільність кори на всіх висотах є меншою на 26–16 % з максимальною різницею в окоренковій частині  $0h$  (див. рис. 2).

Одним з важливих показників для дослідження біотичної продуктивності деревостанів є середня щільність компонента фітомаси деревного стовбура, оскільки вона враховує локальні особливості зміни щільності вздовж деревного стовбура (Lakida & Yudytsky 1993).

Проведення прохідної рубки сильної інтенсивності (секція 8) 8 років перед тим сприяло вірогідному збільшенню середньої природної щільності деревини та деревини в корі в умовах  $B_2$  – на 12 % і 10 % відповідно, порівнюючи з густішими деревостанами (секція 7) (табл. 5).

У бідніших і сухіших умовах ( $A_1$ ) різниця між показниками середньої природної щільності деревини, кори й деревини в корі густіших і менш густих деревостанів є несуттєвою (в межах 0,1–4,0 %).

Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі деревостанів є суттєво меншою в умовах  $B_2$  (секції 7 і 8), ніж в умовах  $A_1$  (секції 5 і 9) (див. табл. 5). Проте в межах цих типів лісорослинних умов між густішими й менш густими деревостанами за цими показниками суттєвих відмін не виявлено.

Отримані результати узгоджуються з висновками багатьох дослідників про те, що проведення рубок догляду не призводить до суттєвого зменшення щільності деревини (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010, Vincent et al. 2011). Ймовірно, це пов'язане з тим, що щільність деревини сосни більшою мірою залежить від частки пізньої ксилеми в річному прирості, ніж від ширини річного кільця (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010).

Порівнюємо показники середньої природної та базисної щільності деревини стовбурів сосни звичайної за результатами проведених нами досліджень та подібних досліджень інших авторів, зокрема в Українському Поліссі та Латвії (Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012). Зазначимо, що для умов Полісся автори переважно визначали щільність деревини стовбура чистих культур у віковому діапазоні 9–91 років, а для умов Латвії – у культурах

віком від 37 до 146 років, в яких проводили комерційні рубки догляду або рубки головного користування (див. табл. 5).

Таблиця 5

Середні природна та базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної

Вік, років	ТЛУ	Щільність, кг·(м <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>					
		природна			базисна		
		деревина	кора	деревина в корі	деревина	кора	деревина в корі
Густіші деревостани							
52	B <sub>2</sub>	821	651	803	409	257	392
51	A <sub>1</sub>	882	638	838	501	369	477
Менш густі деревостани							
52	B <sub>2</sub>	921	546	883	426	216	369
51	A <sub>1</sub>	881	662	848	469	398	458
За даними П. І. Лакіди, Українське Полісся (Lakida et al. 2011)							
9–91	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>2</sub>	909	578	876	427	277	410
За даними Miller M., Magaznieks, Латвія (Millers & Magaznieks 2012)							
37–70	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub>	881	730	873	478	424	470
71–146	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub>	848	751	846	501	421	497

Узагальнений аналіз цих даних свідчить, що отримані нами результати досліджень не тільки узгоджуються з результатами досліджень, проведених іншими авторами, але й суттєво уточнюють їх.

Показник базисної щільності деревини сосни значною мірою визначається співвідношенням приростів пізньої та ранньої деревини в загальному річному радіальному прирості. Загалом чим біднішими є лісорослинні умови, тим вища щільність деревини сосни у зв'язку з формуванням вузьких кілець менш щільної ранньої деревини у весняний період інтенсивного росту (Morey 1973). У сухих борових умовах (A<sub>1</sub>) після проведення рубок догляду зі збільшенням площі живлення дерев збільшується приріст ранньої деревини та її частки в загальному річному радіальному прирості. Це призводить до певного зменшення базисної щільності компонентів фітомаси стовбура менш густих деревостанів, порівнюючи з густішими (див. табл. 5).

У свіжих суборевих умовах зі збільшенням площі живлення після проведення рубок догляду в деревостанах приріст ранньої деревини у весняний період відбувається менш інтенсивно, ніж у насадженнях у сухих борах. Це сприяє збільшенню загального радіального приросту й частки пізньої деревини в прирості, що зумовлює її більшу базисну щільність (див. табл. 5).

**Висновки.** У лівобережній частині Північного Степу України в типах лісорослинних умов B<sub>2</sub> і A<sub>1</sub> вплив рубок догляду сильної інтенсивності, проведених у молодих і середньовікових соснових насадженнях, на показники локальної природної та базисної щільності деревини й деревини в корі, а також середньої природної та базисної щільності деревини й деревини в корі є незначним.

Важливими чинниками, які впливають на щільність деревини, є трофність і зволоженість лісорослинних умов. Суттєву відмінність у базисній щільності виявлено між варіантами за трофністю й вологістю ґрунтів, зокрема між типами лісорослинних умов B<sub>2</sub> та A<sub>1</sub>. Серед густіших деревостанів в A<sub>1</sub>, порівнюючи з B<sub>2</sub>, середня базисна щільність деревини є більшою на 18 %, а серед менш густих – на 8 %, кори – на 30 % та 46 % відповідно та деревини в корі – на 18 % та 19 % відповідно.

Факт більшої базисної щільності деревини в нижній частині стовбура слід брати до уваги під час оцінювання якості заготовленої в процесі рубок деревини.

Одержані дані свідчать про доцільність проведення в молодих штучних насадженнях сосни в сухому бору та свіжому суборі у посушливих умовах степу України рубок догляду сильної інтенсивності лінійним або лінійно-селективним способами, а в середньовікових насадженнях – першої прохідної рубки сильної інтенсивності (до 30 % за запасом) селективним способом. Такі режими вирощування соснових насаджень сприятимуть збільшенню їхніх середніх висот і діаметрів, підвищенню стійкості до фізичних навантажень і не вплинуть негативно щільність деревини та її якість.

#### ПОСИЛАННЯ–REFERENCES

- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V., Svychnuk, V. A., Lesnik O.M.* 2021. Forest inventory handbook. Kyiv, Publishing House Vinichenko, 424 p. (in Ukrainian).
- Candel-Pérez, D., Lo, Y. H., Blanco, J., Chiu, C. M., Camarero, J., González de Andrés, E., Imbert, J., Castillo, F.* 2018. Drought-induced changes in wood density are not prevented by thinning in Scots pine stands. *Forests*, 9: 4.
- Deng, X., Zhang L., Lei P., Xiang W., Yan W.* 2014. Variations of wood basic density with tree age and social classes in the axial direction within *Pinus massoniana* stems in southern China. *Annals of Forest Science*, 71: 505–516.
- Downes, G. M., Nyakuengama, J. G., Evans, R., Northway, R., Blakemore, P., Dickson, R. L., Lausberg, M.* 2002. Relationship between wood density, microfibril angle and stiffness in thinned and fertilized *Pinus radiata*. *IAWA Journal*, 23 (3): 253–265.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D.* 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. [Electronic resource]. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1–9. Available at: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf) (accessed 02.02.2023).
- Hrom, M. M.* 2010. Forest mensuration. Lviv, Ukrainian National Forestry University, 416 p. (in Ukrainian).
- Jaakkola, T., Mäkinen, H., Saranpää, P.* 2006. Wood density of Norway spruce: responses to timing and intensity of first commercial thinning and fertilisation. *For. Ecol. Manag.*, 237: 513–521.
- Jyske, T.* 2008. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments: academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, 55 p.
- Kimberley, M. O., Cown, D. J., McKinley, R. B., Moore, J. R., Dowling, L. J.* 2015. Modelling variation in wood density within and among trees in stands of New Zealand-grown radiata pine. *New Zealand Journal of Forest Science*, 45:(22): 1–13.
- Kovalska, S. S.* 2017. Trunk wood density of Scots pine in the Southern Dnieper Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3): 45–48 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40270309>
- Krajnc, L., Farrelly, N., Harte, A. M.* 2019. The effect of thinning on mechanical properties of Douglas fir, Norway spruce, and Sitka spruce. *Annals of Forest Science*, 76 (1): 3.
- Lakida, P. I. and Yudytsky, Ya. A.* 1993. Estimation of the average density of tree trunk fractions. *Forest Journal*, 1(6): 25–26 (in Ukrainian).
- Lakida, P. I.* 2002. Live biomass of Ukrainian forests. Ternopil, Zbruch, 256 p. (in Ukrainian).
- Lakida, P. I., Vasylyshyn, R. D., Lashchenko, A. H., Terentiev, A. Yu.* 2011. Normative assessment of the components of the aboveground phytomass of trees of the main forest species of Ukraine. Kyiv, 192 p. (in Ukrainian).
- Lovynska, V. M.* 2018. Local density of live biomass components of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) within Northern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 3: 73–78 (in Ukrainian). [https://doi.org/10.31521/2313-092x/2018-3\(99\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092x/2018-3(99)-12)
- Matthews, G.* 1993. The carbon content of trees. Forestry Commission. Tech. Paper 4, Edinburg, 21 p.
- Millers, M. and Magaznieks, J.* 2012. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stem wood and bark moisture and density influencing factors. In: Research for Rural Development. International Scientific Conference. Jelgava, LLU, Vol. 2, p. 91–98.
- Morey, P. R.* 1973. How trees grow. Institute of Biology's studies in biology No 39. London, Arnold, 59 p.
- Morling, T.* 2002. Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilisation and thinning of Scots pine. *Annals of Forest Science*, 59: 29–40.
- Morling, T. and Valinger, E.* 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area, and growth in Scots pine. *Scand. J. For. Res.*, 14(5): 462–469.
- Pape, R.* 1999. Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (1): 27–37.
- Pasternak, V. P., Nazarenko, V. V., Karpets, Yu. V.* 2014. The qualitative characteristics of Scots pine wood and phytomass of pine stands in forest-steppe in Kharkiv Region. *Forestry and Forest Melioration*, 125: 38–45 (in Ukrainian).
- Peltola, H., Kilpeläinen, A., Sauvala, K., Räisänen, T., Ikonen, V. P.* 2007. Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of scots pine. *Silva Fenn*, 41 (3): 489–505.

Russo, D., Marziliano, P., Macri, G., Proto, A., Zimbalatti, G., Lombardi, F. 2019. Does thinning intensity affect wood quality? An analysis of Calabrian pine in Southern Italy using a non-destructive acoustic method. *Forests*, 10(303): 1–16.

Ryabokon, A. P. 1990a. The productivity of pine stands and the quality of wood in them during accelerated cultivation for sawlogs and pulpwood. *Forestry Journal*, 6: 19–24 (in Russian).

Ryabokon, A. P. 1990b. The quality of wood at different growth rates of pine stands. *Forestry [Lesnoye Khoziaystvo]*, 11: 26–28 (in Russian).

Ryabokon, O. P. 2010. *Forest qualimetry*. Kharkiv, Nove slovo, 543 p. (in Ukrainian).

Shinkarenko, I. B. 1990. Impact of thinnings on the productivity of artificial pine forests and their resistance to wind and snow. *Forestry and Forest Melioration*, 50: 53–58 (in Russian).

Shynkarenko Y. B. and Tsykhotskyi, V. K. 1979. Development and implementation of a system of measures for the cultivation of Scots pine stands in Izyum Forestry. Express information, afforestation and forest melioration. Central Bureau of Scientific and Technical Information of the State Forestry of the USSR, 6: 24 p. (in Russian).

Tkach, V. P., Tarnopilska, O. M., Ilchenko S. V. 2014 Impact of thinnings on the mensuration indicators and quality characteristics of phytomass components of the trunk of artificial pine stands of the Izyum steppe forest. *Forestry and Forest Melioration*, 124: 55–66 (in Ukrainian).

Vincent, M., Krause, C., Koubaa, A. 2011. Variation in black spruce (*Picea mariana* (Mill) BSP) wood quality after thinning. *Annals of Forest Science*, 68: 1115–1125.

Vorobyov, D. V. 1967. *Methods of forest typology research*. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).

Wasik, R., Michalec, K., Barszcz, A. 2015. The variability of certain macrostructural features and the density of grand fir (*Abies Grandis* Lindl.) wood from selected stands in southern Poland. *Drewno*, 58(195): 45–58.

Zeller, L., Ammer, C., Annighöfer, P., Biber, P., Marshall, J., Schütze, G., del Rio Gaztelurrutia, M., Pretzsch, H. 2017. Tree ring wood density of Scots pine and European beech lower in mixed-species stands compared with monocultures. *For. Ecol. Manag.*, 400: 363–374.

Tkach V. P., Tarnopilska O. M., Ilchenko S. V., Tarnopilskyi P. B., Kobets O. V., Lukianets V. A., Rumiantsev M. H.

THE IMPACT OF GROWING REGIMES FOR PLANTED SCOTS PINE STANDS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF THE TREE TRUNK PHYTOMASS COMPONENTS IN THE LEFT-BANK PART OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

*Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotskiy*

Qualitative indicators of phytomass of trunk components (local and average natural and basic wood density, wood in the bark, and bark) of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with different growing regimes were studied in the left-bank part of the Northern Steppe. It was found that high-intensity thinning had a slight effect on the local basic wood density: the difference between dense and thinned stands within the same ecotope at all relative heights was insignificant. However, the average basic wood density in the dry poor sites was significantly higher compared to fresh relatively poor sites: 18.4% in dense stands and 8.2% in thinned stands. In the steppe arid climatic conditions in Ukraine, in dry poor sites and in fresh relatively poor sites, no significant influence of the thinning intensity on the quality of pine wood was found in planted pine stands.

**К е у в о р д с :** *Pinus sylvestris* L., thinning, thinning intensity, natural density, basic density, wood, bark, wood in bark.

*E-mail: tkach@uriffm.org.ua; tarnopilska@gmail.com*

*Одержано редколегією 17.05.2023*