

Morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasiana* D. Don. in the antierosion afforestation

V. Bessonova¹, T. Iusypiva²

¹ Dnipro State Agrarian and Economic University
S. Efremov Str., 25, Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: spg.dsaeu@gmail.com

²Oles Honchar Dnipro National University
Gagarin Ave., 72, Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: IusypivaTatjana@i.ua

Received: 10.02.2018 Accepted: 11.03.2018

The paper studies morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasiana* D. Don. in different forest growth conditions of the antierosion afforestation in the steppe Prydniprovyia. The research objects are 25-27-year-old plants, which grow in cross-sectional rows on the northern slope of wooded ravine Viyskovyi. The test Plots differ in forest growth conditions especially in the extent of water supply. In spite of the relatively high drought tolerance of *P. pallasiana*, such morphometric indices of needles as length, width and thickness are reduced in dry forest conditions. Quantitative changes in a number of indicators of the structural elements of the anatomical structure of the needles indicate adaptive changes to the lack of moisture. The formation of needles in dry forest conditions causes the formation of a thicker cuticle, an increase in the thickness of the cells of the epidermis and the hypodermis (radially in the transverse section), which reduces the loss of moisture. However, reducing the size of the conducting beams limits both the flow of water into the needle and the outflow of assimilates. In arid growing conditions, the number of resin canals in needles is reduced compared to plants of thalweg, the layer of folded parenchyma, both the adaxial and abaxial parts of the needles, is thinned.

Key words: antierosion afforestation; forest growth conditions; *Pinus pallasiana*; needles; morphometric and anatomical parameters

Морфо-анатомічні показники хвої *Pinus pallasiana* D. Don. у різних лісорослинних умовах протиерозійного насадження

В. Бессонова¹, Т. Юсипіва²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. С. Єфремова, 25, Дніпро, 49600, Україна
e-mail: spg.dsaeu@gmail.com

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна
e-mail: IusypivaTatjana@i.ua

Досліджено морфо-анатомічні показники асиміляційного апарату сосни Палласова (*Pinus pallasiana* D. Don.) в різних лісорослинних умовах протиерозійного насадження в умовах степового Придніпров'я. Пробні площі відрізнялися лісорослинними умовами, особливо рівнем забезпечення вологою. Виявлено зміни кількісних показників асиміляційного апарату *P. pallasiana* в сухих лісорослинних умовах. Показано зменшення як морфометричних характеристик (довжина, ширина та товщина хвоїнки), так і анатомічних параметрів (розміри провідних пучків, кількість смоляних ходів, товщина шару складчастої паренхіми). Встановлено адаптивні зміни асиміляційного апарату *P. pallasiana* до нестачі вологи: утворення більш товстої кутикули, збільшення товщини клітин епідерми та гіподерми, що знижує втрати вологи.

Ключові слова: протиерозійні насадження; лісорослинні умови; *Pinus pallasiana*; хвоя; морфометричні і анатомічні показники

Вступ

Противерозійні зелені насадження – важливі компоненти лісового господарства у степовій зоні України. Максимальний фітомеліоративний ефект мають системи взаємопов'язаних лісових насаджень, певним чином розташовані на місцевості. У захисному лісорозведенні застосовують дерева і чагарники, що характеризуються різними біологічними особливостями. В багатьох випадках це рослини, що зростають поза їх природних ареалів. Тому важливо розглядати їх біологічні властивості через призму використання у нових умовах (Sidelnik, 1960). Заслужує на увагу застосування у противерозійних насадженнях такої деревної породи як сосна Палласова. Але її пристосувальні реакції до різних лісорослинних умов (що складаються по градієнту балочних схилів) у Північному Степу України фактично не досліджено. У будь-якій балці мікроклімат відрізняється на схилах різних експозицій. Дно, або тальвег, балки характеризується сприятливими умовами зволоження, оскільки ґрунтові води підходять близько до поверхні, а також за рахунок дощової та снігової води. Найтепліші схили південної експозиції. Вони характеризуються найбільш різко вираженим континентальним мікрокліматом. Погіршення лісорослинних умов спостерігається під час руху догори по схилу внаслідок збільшення сухості (Belgard, 1950, 1971).

Показано, що в цілому, не зважаючи на відмінності у таксаційних показниках *Pinus pallasiana* на ділянках схилу байраку Військовий з різним рівнем забезпечення вологою, життєвий стан рослин на всіх частинах схилу добрий (Bessonova et al., 2015). Продуктивність насаджень залежить від адаптованості рослин до умов життя.

Важливу функціональну роль відіграє хвоя, що визначається її значенням у процесах росту та розвитку дерев хвойних фітоценозів (Onuchin, Spitsyna, 1995). Асиміляційні органи забезпечують продукування органічної речовини, а отже, – і продуктивність лісів. Про життєздатність і потенційні можливості формування насаджень можна судити за характеристиками розвитку та фізіологічного стану асиміляційного апарату деревних (Lir et al., 1974). Структурним відображенням цих процесів є анатомічна будова листка (Beck, 2005; Kim, 2014). Значна увага приділяється аналізу різноманітних показників хвої різних видів роду *Pinus* природних популяцій та гібридів (Idžojić, 2001, Nikolic et al., 2013, 2016, Bhat et al., 2016, Donnelly et al., 2016, Pfeifhofer et al., 2017 та ін.). Дослідження гістологічної структури хвої дозволить прогнозувати механізми адаптації рослин до несприятливих абіотичних чинників довкілля. Відомо, що стрес-фактори навколишнього середовища викликають зміни анатомічних характеристик вегетативних органів деревних рослин (Kurteva, 2007; Abdussalam et al., 2015; Iusypiva and Miasoid, 2016, 2017), у тому числі й листового апарату (Dmuchowski, 1998; Verma, 2014; Kryvoruchko and Bessonova, 2017, 2018).

Мета роботи – проаналізувати морфо-анатомічні показники хвої сосни Палласова в різних лісорослинних умовах противерозійного насадження.

Матеріали та методи

Об'єкт дослідження – сосна Палласова (*Pinus pallasiana* D. Don), яка зростає у противерозійному насадженні поперечними рядами на терасах схилу південної експозиції байраку Військовий, розташованому в Солонянському районі Дніпропетровської області (рис. 1). Його протяжність 3,2 км, він має 3 відроги і відноситься до байраків, які є південними форпостами байрачних лісів (Belgard, 1971) і зростають на території, де в минулому були пороги Дніпра. У байраку розповсюджені осередки природних деревних біогеоценозів та штучні противерозійні насадження (Bessonova et al., 2015, 2015; Bessonova et al., 2017). Вік досліджених дерев *P. pallasiana* становить 25–27 років. Вік рослин визначали за часом закладання штучного противерозійного насадження Микільським лісівництвом, а також уточнювали підрахунком кількості кілець гілок (мутовок) на стовбурі (Korchagin, 1960).

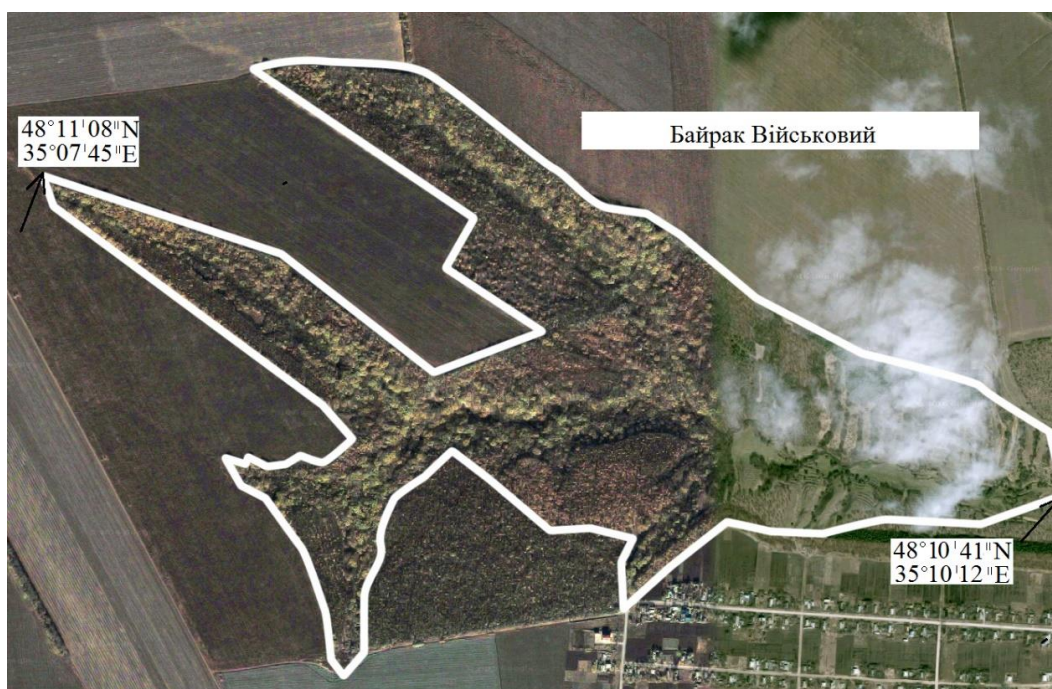


Рис. 1. Картосхема байраку Військовий

Пробна площа 1 розташована у тальвезі на дещо підвищеній пласкій його частині на 1,5–2 м вище від рівня струмка, що протікає у заглибленому руслі, на відстані 35 м від нього. Ця ділянка примикає до схилу південної експозиції. Ділянка 2 знаходиться в середній частині схилу і третя – у верхній. Вони відрізняються лісорослинними умовами, особливо рівнем забезпечення вологою. Зволоження на першій ділянці ґрунтове й атмосферне, лісорослинні умови за Бельгардом (1971) СГ₂ – свіжі (мезофільні). На другій–третьій ділянках – атмосферно-транзитне, лісорослинні умови СГ₁ – сухуваті (мезоксерофільні) та СГ₀₋₁ – сухі (ксерофільні) відповідно. Район місцезнаходження байраку характеризується посушливим кліматом. Кількість опадів – 420–450 мл у рік (Tsvetkova, 2013). Коефіцієнт зволоження – 0,67. Схили байраків південної експозиції характеризуються найбільш сухими лісорослинними умовами.

Проби відбирали на початку вересня в південно-східному секторі крон модельних дерев з пагонів першого порядку галушення за однакових умов освітлення на висоті 1,7 м від рівня ґрунту на відстані 1 см від основи пагона поточного року. Кількість модельних дерев 5. Довжину хвої вимірювали міліметровою лінійкою. Ширину та товщину визначали на зрізах в центральній частині хвоїнки під мікроскопом БІОМЕД–4 біокуляр за збільшення 4 x 7. Зрізи робили з використанням ручного мікротома (Klein and Klein, 1974).

Площу хвоїнки розраховували за формулою (Sungurova, Khudyakov, 2015):

$$S = 5,14 L (0,5(a+b/2)),$$

де S – площа хвоїнки, мм², L – довжина хвоїнки, мм, a – товщина хвоїнки, мм, b – ширина хвоїнки, мм.

Периметр хвоїнок сосни визначали за формулою Тирена (Blaschinskaia, 2014):

$$P = (2(1,137b+a))^{0,5},$$

де P – периметр хвоїнки, мм, a – товщина хвоїнки, мм, b – ширина хвоїнки, мм.

Індекс флуктуючої асиметрії хвої для довжини парних голок розраховували за формулою (Palmer, Stobek, 1986; Kozlov et al., 2002):

$$I_{FA} = 2 (WL - WR) / (WL + WR),$$

де I_{FA} – індекс флуктуючої асиметрії хвої, WL – довжина однієї голки в парі, мм, WR – довжина другої голки в парі, мм.

Масу голок зважували на електронних вагах ТБЕ–0,21 з точністю 0,001. Виміри морфометричних показників хвоїнок і їх масу здійснювали у 100-кратній повторності.

Вимірювання розмірів гістологічних елементів хвої здійснювали окуляр-мікрометром. Щільність розташування продихів визначали на опуклому боці хвоїнки (абаксальному) в центральній її частині, як вказано в роботі (Kuzmin et al., 2009). Повторність вимірювань 30-кратна. Препарати фотографували за допомогою Camera for Microscop DCM-130. Результати дослідження обробляли за допомогою Microsoft Office Excel 2007. Розраховували середню арифметичну похибку. Для порівняння морфо-анатомічних показників контрольних і дослідних варіантів використовували Student's t-test ($p \leq 0,05$).

Результати та їх обговорення

Умови зростання дерев сосни Палласова впливають на довжину хвої. Найбільша вона у рослин тальвегу: на 34,9 % порівняно з цією величиною у дерев верхньої частини схилу (табл. 1). На зменшення значень показників довжини хвої дерев, що зростають в умовах підвищеної інсоляції, високих температур та нестачі вологи в умовах Степу, вказує Л.І. Терещенко (2015).

Таблиця 1. Морфометричні показники хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у тальвезі (ділянка 1), середній (ділянка 2) та верхній (ділянка 3) частинах схилу південної експозиції байраку Військового

Ділянка	Довжина хвоїнки, см	Ширина хвоїнки, см	Товщина хвоїнки, см	Відношення ширини до товщини	Площа хвоїнки, мм ²	Периметр хвоїнки, см
Ділянка 1	13,49 ± 0,72	1,23 ± 0,03	0,74 ± 0,03	1,66 ± 0,11	47,14 ± 1,12	2,12 ± 0,05
Ділянка 2	11,40 ± 0,56*	1,02 ± 0,04*	0,65 ± 0,01*	1,56 ± 0,07	33,98 ± 0,80*	2,06 ± 0,10
Ділянка 3	10,88 ± 0,61*	0,94 ± 0,06*	0,63 ± 0,02*	1,49 ± 0,10	30,75 ± 1,06*	1,84 ± 0,04*

Примітка: * – різниця статистично достовірна при $p \leq 0,05$ порівняно з контролем ($n=100$)

Скорочення лінійних розмірів хвої у сосни сибірської в умовах більш низьких температур повітря зі збільшенням висоти над рівнем моря О.Ф. Бендер (2003) пояснює зменшенням активності клітинного поділу в антиклинальній площині, в той час як товщина хвої визначається поділом клітин у периклинальній площині. Слід зазначити, що в нашому дослідженні спостерігається формування не тільки коротших, але й вужчих хвоїнок з меншою товщиною. Це може свідчити про пригнічення поділу клітин в обох площинах.

Площа хвоїнки суттєво більша у дерев тальвегу ніж на двох інших пробних ділянках (2 і 3) у 1,38 та 1,53 рази відповідно (табл. 1). Значна різниця виявлена у масі хвоїнок у рослин, що зростають на ділянках з різним водозабезпеченням (рис. 2). Цей параметр становить 73,47 % на ділянці 2 і 65,98% на ділянці 3 відносно результатів, отриманих для хвоїнок тальвегу. Отже, морфометричні показники хвої в сухих лісорослинних умовах суттєво знижуються порівняно зі свіжуватими.

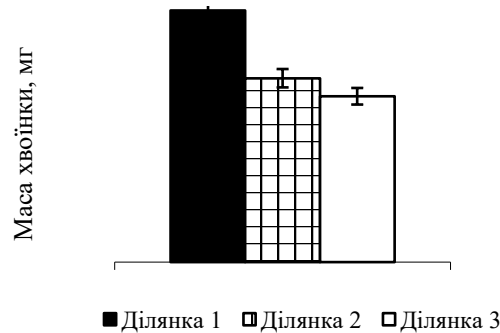


Рис. 2. Маса хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у тальвезі (ділянка 1), середній (ділянка 2) та верхній (ділянка 3) частинах схилу південної експозиції байраку Військовий, мг (n=100)

Кількісним показником порушення стабільності розвитку є індекс флуктуючої асиметрії. Його величина для довжини хвої найменша в умовах достатнього водозабезпечення – 0,006, для рослин ділянок 2 і 3, що зростають за нестачі вологи, значення цього показника більші – 0,015 та 0,025 відповідно. Це свідчить про деякі невеликі порушення стабільності розвитку хвої у сухих лісорослинних умовах. Л.Н. Скрипальщикова зі співавт. (2016) вважають, що мінливість індексів флуктуючої асиметрії хвої сосни звичайної на пробних площах в Есаульському бору Красноярського краю може бути пов'язана з великим різноманіттям екологічних чинників, що діють на деревостани, а також з особливостями біофізичної конструкції насадження. Слід відмітити, що цей індекс застосовують переважно для оцінки відхилень у розвитку в умовах забруднення довкілля (Blaschinskaia, 2014).



Рис. 3. Поперечні зрізи хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у: 1 – тальвезі (СГ₂) та 2 – у верхній частині схилу (СГ₀₋₁). а – кутикула і епідерма, б – гіподерма, в – складчаста паренхіма, г – провідні пучки, д – продихи, е – смоляний канал, ж – ендодерма

Розміри клітин адаксіальної епідерми та гіподерми дещо більші, ніж з нижнього боку листка (табл. 2). У хвої дерев тальвегу розміри клітин епідерми на поперечному розрізі у радіальному напрямку менші, ніж у рослин, що зростають в умовах дефіциту води. Така ж тенденція характерна і для клітин гіподерми. Але між показниками ширини цих клітин у різних варіантах дослідження різниця статистично недостовірна.

Кутикула, епідерма та гіподерма – основний бар'єр між оточуючим середовищем і внутрішніми тканинами. Їм належить велика роль в обмеженні випаровування води, і ступінь їх розвитку має особливе значення в умовах дефіциту вологи. Отже, потовщення шару кутикули, епідерми та гіподерми у рослин середньої та верхньої частини схилу можна розглядати як адаптацію для меншої втрати води в сухих лісорослинних умовах.

Відомо, що на кількість продихів впливає два чинники: концентрація CO₂ у повітрі та кількість вологи у ґрунті (Schoettle, Rochelle, 2000). Умови досліджуваних нами ділянок відрізняються, як вже відзначалося, другим із вказаних вище чинників. Продихи хвої *P. pallasiana* сильно заглиблені у тканини листка і розташовані рядами (рис. 4). Встановлено, що кількість поздовжніх рядів продихів на плоскому боці в середньому 5, але в сухих лісорослинних умовах може знизитися до 4, на опуклому (нижньому) боці – в середньому 14 за нормального зволоження (тальвег) і зменшується до 9 рядів у

сухих лісорослинних умовах (СГ₀₋₁). Умови зростання впливають на щільність розташування продихів. Найбільше їх число на 1 мм² поверхні епідерми нижнього боку хвоїнки на ділянці 1 – 69,57 ± 4,20, на ділянці 2 їх кількість становить 53,73 ± 3,11, на ділянці 3 – 46,21 ± 5,21 відповідно.

Таблиця 2. Розміри клітин епідерми та гіподерми (на поперечному розрізі) хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у тальвезі (ділянка 1), середній (ділянка 2) та верхній (ділянка 3) частинах схилу південної експозиції байраку Військового, мкм

Ділянка	Ділянка 1	Ділянка 2	% від показників ділянки 1	Ділянка 3	% від показників ділянки 1
Епідерма					
адаксіальний бік					
висота	19,50 ± 0,51	23,44 ± 1,12*	120,21	24,11 ± 0,70*	123,64
ширина	22,32 ± 0,73	24,16 ± 0,80	108,24	23,90 ± 1,11	107,08
абаксіальний бік					
висота	16,25 ± 0,42	18,20 ± 0,63*	112,00	18,85 ± 0,65*	116,00
ширина	18,30 ± 0,84	20,11 ± 1,12	109,89	20,08 ± 0,78	109,73
Гіподерма					
адаксіальний бік					
висота	20,15 ± 0,64	23,68 ± 0,51*	117,52	24,72 ± 0,53*	122,68
ширина	22,81 ± 0,73	24,50 ± 0,56	107,41	24,93 ± 0,65*	109,29
абаксіальний бік					
висота	16,75 ± 0,45	19,28 ± 0,36*	115,11	19,76 ± 0,40*	117,97
ширина	18,40 ± 0,58	18,41 ± 0,39	100,60	20,39 ± 0,58*	111,42

Примітка: * – різниця статистично достовірна при $p \leq 0,05$ порівняно з контролем (n=30)

Складчаста паренхіма верхнього і нижнього боків хвої представлена клітинами, оболонки яких заходять у порожнину клітин. Мезофіл краще розвинений у хвої рослин тальвегу в умовах достатнього водозабезпечення рослин (табл. 3). Найтонший його шар з верхнього та нижнього боків листка рослин, що зростають в умовах дефіциту вологи (ділянка 3): на 23,75 і 14,34 % відповідно порівняно з тальвегом. На середній частині схилу (ділянка 2) також відбувається потоншення шару цієї тканини.

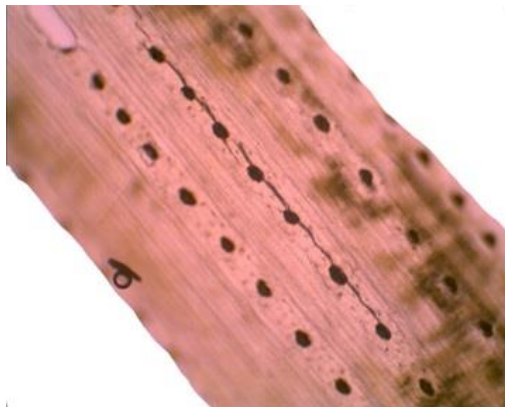


Рис. 4. Ряди продихів на адаксіальній поверхні хвої *Pinus pallasiana*

Смоляні ходи хвої *P. pallasiana* за типом розташування бувають паренхімні (занурені в паренхіму мезофілу), крайові (прилягають до гіподерми багатьма клітинами) і перехідні (прилягають до гіподерми однією клітиною) (Pravdin, 1964). У хвої дослідних рослин *P. pallasiana* нами виявлено лише їх паренхімний тип. Діаметр смоляних каналів більший у рослин тальвегу, особливо у кутах хвоїнки – 90,7 ± 2,5 мкм, у рослин середньої частини схилу 80,3 ± 1,9, а його верхньої частини 73,4 ± 2,1 мкм. В цілому, діаметр смоляних ходів значно варіює на одному і тому ж зрізі в різних частинах мезофілу – від 98 до 27 мкм.

Таблиця 3. Товщина шару мезофілу хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у тальвезі (ділянка 1), середній (ділянка 2) та верхній (ділянка 3) частинах схилу південної експозиції байраку Військового, мкм

Показник	Ділянка 1	Ділянка 2	% від показників ділянки 1	Ділянка 3	% від показників ділянки 1
Товщина мезофілу адаксіального боку	140,27 ± 3,10	125,32 ± 3,21*	89,34	120,16 ± 5,12*	85,66
Товщина мезофілу абаксіального боку	210,34 ± 4,26	172,70 ± 3,17*	82,11	160,39 ± 5,24*	76,25

Примітка: * – різниця статистично достовірна при $p \leq 0,05$ порівняно з контролем (n=30)

Кількість смоляних ходів хвої *P. pallasiana* змінюється залежно від лісорослинних умов. Найбільша вона в голках рослин тальвегу – 5–8 шт. У рослин середньої частини схилу – 3–5 шт., верхньої – стільки ж, але зустрічаються хвоїнки із двома каналами (рис. 5). Отже кількість смоляних каналів у хвої *P. pallasiana* не є постійною величиною, а змінюється залежно від умов зростання. Варіативність кількості смоляних ходів виявлено й у інших видів роду *Pinus* в різних екологічних умовах. Так, Л.Д. Правдин (1964) вказує, що така ознака, як кількість смоляних ходів *P. sylvestris*, дуже мінлива і залежить від зміни екологічних умов. Л.І. Терещенко (2015) відзначає, що погіршення умов зростання сосни звичайної викликає зменшення числа смоляних ходів.

За даними Н.А. Луганського (1972) чим кращим є положення дерев у наметі деревостану, тим більша кількість смоляних каналів у хвої *P. sylvestris*. Ксерофітизація будови хвої сосни звичайної узгоджується зі зменшенням числа смоляних ходів у хвої (Srodnykh, 1994). Згідно результатам, отриманим Л.Н. Скрипальщиковою зі співавт. (2016) мінімальна їх кількість у хвої цього ж виду зафіксована в антропогенно порушеному насадженні.

Дослідження І.А. Дніпровського зі співавт. (2015) показали, що кількість смоляних ходів у хвої *P. sylvestris* зменшується в міру наближення до джерела забруднення. Подібні результати отримали й інші дослідники (Zotikova et al., 2007). Проте в деяких роботах вказується, що за стресових умов аеротоксичного навантаження збільшується число смоляних ходів (Stewart, 1973). Г.М. Ількун (1978) також відзначає, що підпорогові концентрації газоподібних забруднювачів (фтор і хлор) викликають додаткове утворення смоляних ходів у хвої сосни звичайної. Отже, варіювання їх кількості у хвої залежить не тільки від характеру діючого чинника, але й сили його дії.



Рис. 5. Поперечні зрізи хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у: 1 – тальвезі (9 смоляних ходів), 2 – середній частині схилу (3 смоляні канали) та 3 – верхній частині схилу (2 смоляні ходи)

Центральний провідний циліндр хвої *P. pallasiana* оточує ендодерма, яка виконує функцію бар'єру між внутрішньою та периферійною частинами хвої і відповідає за вибірковість транспорту речовин до провідних тканин (Esau, 1969). Умови зростання, за нашими даними, суттєво не впливають на розміри її клітин (табл. 4).

Під ендодермою розміщена трансфузійна тканина (особливий вид провідної). Вона представлена живими паренхімними клітинами і клітинами трахеїд. У провідному центральному циліндрі трансфузійні трахеїди знаходяться поруч із провідними пучками. За К. Есау (1969), у хвойних ці клітини мертві. Між двома провідними пучками розташовані клітини склеренхіми.

Довжина і ширина провідного циліндра хвої *P. pallasiana* найбільші у рослин сприятливих лісорослинних умов, найменші – у рослин верхньої третини схилу. Найширші й найдовші провідні пучки також у рослин за достатнього водозабезпечення. Різниця в показниках дерев середньої та верхньої третин схилу невелика, але достовірна.

Таблиця 4. Характеристики гістологічних елементів центрального провідного циліндра (ЦПЦ) хвої *Pinus pallasiana*, що зростає у тальвезі (ділянка 1), середній (ділянка 2) та верхній (ділянка 3) частинах схилу південної експозиції байраку Військового, мкм

Показник	Ділянка 1	Ділянка 2	% від показників ділянки 1	Ділянка 3	% від показників ділянки 1
Товщина клітин ендодерми					
Довжина ЦПЦ	627,61 ± 12,26	559,20 ± 10,40*	89,10	530,43 ± 14,27*	84,52
Ширина ЦПЦ	281,53 ± 9,32	243,46 ± 8,76*	86,48	231,73 ± 11,06*	82,31
Довжина провідного пучка	180,85 ± 6,27	162,71 ± 5,30*	89,97	154,82 ± 5,18*	85,61
Ширина провідного пучка	145,72 ± 7,18	120,08 ± 6,31*	82,41	117,92 ± 8,42*	80,92

Примітка: * – різниця статистично достовірна при $p \leq 0,05$ порівняно з контролем ($n=30$)

Висновки

Незважаючи на достатньо високу посухостійкість *P. pallasiana*, в сухих лісорослинних умовах відбувається зменшення таких морфометричних показників хвої як довжина, ширина та товщина. Кількісні зміни низки показників структурних елементів анатомічної будови хвої свідчать про адаптивні зміни до нестачі вологи. Формування хвої у сухих лісорослинних умовах викликає утворення більш товстої кутикули та збільшення товщини клітин епідерми та гіподерми (у радіальному напрямку на поперечному розрізі), що знижує втрати вологи. Проте зменшення розмірів провідних пучків обмежує як надходження води в хвою, так і відтікання асимілятів. У посушливих умовах зростання скорочується кількість смоляних каналів у голках порівняно з рослинами тальвегу, потоншується шар складчастої паренхіми як з адаксіального, так і з абаксіального боків хвої.

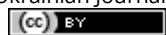
References

- Abdussalam, A.K., Ravindran, C.P., Ratheesh, Ch.P., Azeez, K. and Nabeesa, S. (2015). Physiological Effects of Heavy Metal Toxicity and Associated Histological Changes in *Boerhavia diffusa* L. *Journal of Global Biosciences*, 4(1), 1221–1234.
- Beck, C.B. (2005). *An Introduction to Plant Structure and Development. Plant Anatomy for the Twenty First Century*, Cambridge University Press.
- Belgard, A.L. (1950). *Lesnaja rastitel'nost' jugo-vostoka USSR [Forest vegetation of south-eastern part of Ukraine]*. Kyiv, Kiev State University Press (in Russian).
- Belgard, A.L. (1971). *Steppe Forestry*. Moscow, Forest Industry (in Russian).
- Bender, O.G. (2003). *Morfo-anatomicheskie i ultrastrukturnye harakteristiki hvoi sosny sibirskoj (Pinus sibirica Du Tour) v gornom Altae [Morpho-anatomical and ultrastructural characteristics of Siberian pine needles (Pinus sibirica Du Tour) in the Altai mountains]: Author's Thesis a Doctor's Degree in Botany*, Tomsk (in Russian).
- Bessonova, V.P., Zaytseva I.A., Nemchenko, M.V. (2017). Dendroflora of the "Voyskovaya balka" stow (Dnipropetrovsk region). *Phyto-Variety of Eastern Europe*, 11 (2), 70–77 (in Russian).
- Bessonova, V.P., Kuchma, V.N., Nemchenko, M.V. (2015). *Sravnitel'nyy harakteristika sosni Pallasova na raznih urovnyah sklona balki v ptotivoeroziionnih nasadzheniyah [Comparative characteristics of Pallasova pine at different levels of the slope of the beam in erosion plantations]. Actual problems, current status, innovations in the field of environmental engineering and construction: Mater. Vseros. scientific-practical Conf., November 11, 2015. Blagoveshensk: izd-vo Dalnevostochnogo GAU, 44–49 (in Russian).*
- Bessonova, V.P., Nemchenko, M.V., Kuchma, V.M. (2015). *Liso-taksatsiyni kharakteristiki nasadzhen Robinia pseudoacacia L. na skhili bayraku Viyskoviy [Forestry-valuation characteristics of planting Robinia pseudoacacia L. on the slopes Viyskoviy ravine]. Problems of bioindications and ecology*, 20 (1), 46–58 (in Ukrainian).
- Blaschinskaya, O.N. (2014). *Baryernyye svoystva drevesnogo rastitelnogo pokrova (sosna obyknovennaya i bereza povislaya) urbanizovannoy territorii (na primere g. Angarska Irkutskoy oblasti) [Barrier properties of woody vegetation cover (common pine and birch dangling) of the urbanized territory (on the example of the city of Angarsk in the Irkutsk region)]. Thesis of Doctoral Dissertation. Irkutsk (in Russian).*
- Bhat, Sheeraz Saleem, Singh, N.B., Sankhyan H.P., and Sharma K.R. (2016). Variability studies for needle and wood traits of different half sib progenies of *Pinus roxburghii* Sargent. *Physiol Mol Biol Plants*, 22(2), 231–239. doi: 10.1007/s12298-016-0358-y
- Dneprovskii, I.A., Skripal'shchikova, L.N., Stasova, V.V., Plyashechnik, M.A. (2015). *Otsenka stabilnosti razvitiya sosnovykh drevostoyev po pokazatelyam morfologo-anatomicheskogo stroyeniya khvoi [Assessment of the development stability of pine stands by morphological and anatomical parameters of needle]. Plants under global and local natural-climatic and human impacts: The All-Russian Conference. September 21-26, 2015, Petrozavodsk (in Russian).*
- Dmuchowski, W., Kurczynska, E.U., Wloch, W. (1998). *Chemical Composition of Needles and Cambial Activity of Stems of Scots Pine Trees Affected by Air Pollutants in Polish Forests. USDA Forest Service Gen.Tech.Rep. PSW-GTR-166. Available from: http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr166/psw_gtr166_003_dmuchowski.pdf Accessed on 23.01.2018*
- Donnelly K, Cavers S, Cottrell JE, Ennos RA (2016) Genetic variation for needle traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Tree Genet Genomes*. doi:10.1007/s11295-016-1000-4
- Kim, D. (2014). *Coder Advanced Tree Biology: Tree Anatomy I*. University of Georgia. Available from: http://www.isa-arbor.com/events/conference/proceedings/2014/2014_DrCoderTREEANATOMY.pdf Accessed on 23.01.2018
- Esau, K. (1969). *Anatomyia rastenyi [Plant Anatomy]*. Moscow, Mir (in Russian).
- Ilkun, G.M. (1978). *Zagryazniteli atmosferu i rasteniya [Air Pollution and Plants]*. Kyiv, Naukova Dumka (in Russian).
- Idžojtić, M. (2001). *Morphometrical analysis and needle volatiles composition of some hard pine species and their hybrids. Glas. s' um. pokuse*, 38, 1–76.
- Iusypiva, T. and Miasoid, G. (2016). *The Impact of Industrial Pollution with Toxic Gases on Stem Histological Parameters of Woody Plant Undergrowth under Conditions of the Southern Industrial Zone of the City of Dnipro, Ukraine. International Letters of Natural Sciences*, 59, 62–71. doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.59.62
- Iusypiva, T., Miasoid, G. (2017). *The Impact of Industrial Pollution with Toxic Gases on the Stem Anatomical Characteristics of Woody Plant Undergrowth in the City of Dnipro, Ukraine. International Letters of Natural Sciences*, 65, 1–9. doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.65.1
- Klein, R.M., Klein, D.T. (1974) *Metody issledovanija rastenij [Methods for studying plants]*. Moscow, Kolos. (in Russian).
- Kozlov, M.V., Niemela, P. (2002). *Difference in needle fluctuating asymmetry as a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (Pinus sylvestris). Ecological indicators*, 1, 271–277.
- Korchagin, A.A. (1960). *Age determination of temperate latitudes. In: Field geobotany*, 2, 209–276.
- Kryvoruchko, A.P., Bessonova, V.P. (2018). *Anatomic characteristics of leaves Quercus rubra L. and Quercus robur L. growing solitary and growing in the groups. Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (1), 64–71. doi: 10.15421/2017_188 (in Ukrainian).

- Kryvoruchko, A., Bessonova, V. (2017). Parameters of anatomical structure of red oak (*Quercus rubra* L.) leaf in urbanized conditions // Visnyk of the Lviv University, Series Biology, 76, 29–37 (in Ukrainian).
- Kurteva, M., Stambolievam, K. (2007). *Acer pseudoplatanus* L., *Acer platanoides* L. and *Betula pendula* (Roth.) as Bioindicators of Urban Pollution in Sofia. *Silva Balcanica*, 8(1), 32–46.
- Kuzmin, S.R., Vaganov, E.A., Kuzmina, N.A., Milyutin, L.I., Silkin, P.P. (2009). Plotnost ustits sosny obyknovennoy v geograficheskikh kulturakh Priangaria [Stomatal density of Scots pine in geographical cultures of Angara]. *Russian Journal of Forest Science*, 2, 35–40 (in Russian).
- Lir, Kh., Pol'ster, G., Fidler, G.-I. (1974). *Woody Plant Physiology. Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Forest Industry (in Russian).
- Luganskiy, N.A. (1972). Morfologo-anatomicheskoye stroyeniye khvoi derevyev sosny v molodnyakakh [Morphological and anatomical structure of pine needles in young trees]. *Ural forests and the economy in them*, Sverdlovsk, 7, 88–94 (in Russian). Available from: http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/4790/1/lesa_urala_7_10.pdf/ Accessed on 23.01.2018
- Onuchin, A.A., Spitsyna, N.T. (1995). Zakonomnosti izmeneniya massy khvoi v khvoynykh drevostoyakh [Patterns of change in the mass of needles in coniferous forest stands]. *Lesovedenie*, 5, 48–58 (in Russian).
- Palmer, A.R., Strobeck, C. (1986). Fluctuating asymmetry measurement, analysis, patterns. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17, 391–421.
- Nikolić, B., Bojović, S., & Marin, P.D. (2014). Morpho-anatomical properties of *Pinus heldreichii* needles from natural populations in Montenegro and Serbia. *Plant Biosystems*, 150 (2), 254–263. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.984008/>
- Nikolic, B., Bojovic, S., Marin, P.D. (2013). Variability of morpho-anatomical characteristics of the needles of *Picea omorika* from natural populations in Serbia. *Plant Biosyst*, 149(1), 61–67. doi: 10.1080/11263504.2013.810180
- Pfeifhofer, H., Idžojtič, M. & Zebec, M. (2017). The Needle Volatile Composition of *Pinus nigra* J. F. Arnold, *P. sylvestris* L., *P. densiflora* Siebold et Zucc. and *P. thunbergiana* Franco Trispecies Hybrids. *Silvae Genetica*, 57(1-6), 221–226. doi:10.1515/sg-2008-0034
- Pravdin, L.F. (1964). *Sosna obyknovennaya: izmenchivost. vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Pine: variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow, Science (in Russian).
- Schoettle, A.W., Rochelle, S.G. (2000). Morphological variation of *Pinus flexilis* (*Pinaceae*), a bird-dispersed pine, across a range of elevations. *American Journal of Botany*, 87 (12), 1997–2006.
- Sidelnik, N.A. (1960). Nekotoryye voprosy massivnogo lesorazvedeniya v stepi i perspektivnyye tipy kultur dlya stepnoy zony USSR [Some issues of massive afforestation in the steppe and promising types of crops for the steppe zone of the Ukrainian SSR]. *Artificial forests of the steppe zone of Ukraine*, Kharkiv, Kharkiv Univ. Press, 85–131 (in Russian).
- Skripal'shchikova, L.N., Dneprovskii, I.A., Stasova, V.V., Plyashechnik, M.A., Greshilova, N.V., Kalugina, O.V. (2016). Morfologo-anatomicheskiye osobennosti khvoi sosny obyknovennoy pod vliyaniem promyshlennykh vybrosov goroda Krasnoyarska [Morphological and anatomical characteristics of Scots pine needles under industrial pollution impact of Krasnoyarsk city]. *Siberian Forest Journal*, 3, 46–56 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/SJFS20160305/>
- Srodnykh, T.B. (1994). Anatomico-morfologicheskaya struktura khvoi eli v zone promyshlennykh vybrosov [Anatomico-morphological structure of spruce needles in the zone of industrial emissions]. *Forests of the Urals and farming in them*, Ural state forestry academy, Ekaterinburg, 17, 192–202 (in Russian).
- Sungurova, N.R., Khudyakov, V.V. (2015). Assimilyatsionnyy apparat v kulturakh sosny [Assimilatory apparatus of pine cultures]. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 81 (153), 68–74 (in Russian).
- Tereshchenko, L.I. (2015). Variability of morphological and anatomical features of Scots pine needles. *Forestry and Forest Melioration*, 127, 98–106 (in Ukrainian).
- Tsvetkova, N.N. (2013). Osobennosti migratsii organo-mineral'nykh veshchestv i mikroelementov v lesnykh biogeotsenozakh stepnoy zony Ukrainy [Features of migration of organic and mineral substances and trace elements in forest-steppe ecosystems of Ukraine]. *Dnipropetrovsk, Dnipropetrovsk Univ. Press* (in Russian).
- Stewart, D., Treshow, M., Harner, F.M. (1973). Pathological anatomy of conifer needle necrosis. *Can. J. Bot.*, 51, 983–988.
- Vijeta, Verma, Neelam, Chandra. (2014). Biochemical and Ultrastructural Changes in *Sida cordifolia* L. and *Catharanthus roseus* L. to Auto Pollution. *International Scholarly Research Notices*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/263092/>
- Zotikova, A.P., Bender, O.G., Sobchak, R.A., Astafurova, T.P. (2007). Sravnitel'naya otsenka strukturno-funktsionalnoy organizatsii listovogo apparata khvoynykh rasteniy na territorii g. Gorno-Altayska [Comparative estimation of the needle structural and functional organization of the coniferous species in Gorno-Altaysk] *Vestnik Tomsk State University*, 299 (1), 197–200 (in Russian).

Citation:

Bessonova, V., Iusypiva, T. (2018). Morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasiana* D. Don. in the antierosion afforestation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 851–858.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License