



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412506>

Article received 2025.01.27
Article revised 2025.02.06
Article accepted 2025.07.02
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Zaika
vkzaika@ukr.net

57 Shevchenko st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

УДК: 582.475.4:581.1/.5:630*232

Морфофізіологічні особливості формування підросту *Abies alba* Mill. в умовах вологої смереково-букової суяличини

Б. М. Міліневич¹, В. К. Заїка², В. А. Ковальова³, Ю. М. Юсипович⁴,
М. М. Павук⁵, В. В. Тисяк⁶

Досліджено лісовідновні процеси в 90-110-річних ялицевих деревостанах вологої смереково-букової суяличини та морфофізіологічні особливості функціонування підросту *Abies alba* Mill. Встановлено, що в деревостанах, пройдених першим прийомом рівномірно-поступової рубки, частка ялиці становить 8-10 од., запас деревини змінюється в межах 239-391 м³·га⁻¹, а абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹. В ялицевому деревостані без господарського втручання ці показники становили, відповідно, 52,3 м²·га⁻¹ і 667 м³·га⁻¹. У деревостанах після першого прийому рівномірно-поступової рубки кількість підросту деревних видів становить 15,49-17,00 тис. екз./га з часткою ялиці у його складі 42,4-86,8%. У складі підросту найменше представлений самосів 2,7-25,5%; за висотою переважає середній (28,5-61,8%) та дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів. В ялицевому деревостані, де рубка не проводилась, кількість підросту деревних видів становить 9,30 тис. екз./га з часткою ялиці 94,4%. Середня висота підросту ялиці в межах цього деревостану змінюється від 21 до 119 см, а приріст за висотою – від 1,6 до 9,1 см та істотно відстає від контролю. Встановлено суттєве зменшення відносно контролю морфометричних показників хвої підросту ялиці: довжини – на 22,0-45,3, товщини – на 20,0-62,2, ширини – на 1,4-15,7, площі поперечного перерізу – на 18,2-45,3 і площі поверхні – на 32,7-54,8%. Вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці перевищує контроль на 48,9-198,2% і каротиноїдів – на 16,7-168,9%. За діелектричними показниками підріст ялиці під наметом деревостану істотно відрізняється від контролю, а його процеси життєдіяльності перебувають в депресивному стані.

Ключові слова: ялицевий деревостан; підріст; морфологічні показники хвої; пластидні пігменти; діелектричні показники; ріст; хлорофіли; каротиноїди.

¹ Міліневич Богдан Миколайович – магістр. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: bohdan.milinevych.21@pnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2516-6260>

² Заїка Володимир Костянтинович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор кафедри лісового і аграрного менеджменту. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³ Ковальова Валентина Андріївна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник. Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kovaleva@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-2747>

⁴ Юсипович Юрій Михайлович – кандидат біологічних наук, завідувач відділу благоустрою та репродукції рослин Ботанічного саду. Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: jojusse@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0013-6699>

⁵ Павук Михайло Миколайович – аспірант. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: mykhailo.pavuk.22@pnu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-6157-0832>

⁶ Тисяк Василь Васильович – аспірант. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: asp.tusjak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4962-8743>

Вступ (Introduction).

В Україні в останні десятиріччя встановилася чітка тенденція переходу до ведення наближеного до природи лісового господарства. Основним його принципом є постійне збереження лісового середовища на вкритих лісовою рослинністю ділянках, а також видового і генетичного розмаїття, що досягається шляхом безперервного природного насінного відтворення деревних видів та формування складних мішаних різновікових корінних деревостанів. Такі деревостани характеризуються високою продуктивністю і біотичною стійкістю.

Під час запровадження наближеного до природи лісового господарства необхідно враховувати біо-екологічні властивості деревних видів щодо особливостей їх насінношення, проростання насінин і виживання підросту під наметом материнських деревостанів. Особливе значення тут має регулювання світлового режиму в деревостанах для забезпечення успішного росту молодого покоління лісу.

В умовах Українських Карпат основними лісо-твірними та найбільш поширеними деревними видами є *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst. та *Abies alba* Mill. За різними даними (Герушинський, 1996; Гриник, 2011), деревостани ялиці в Карпатах трапляються на площі 58,0-64,4 тис. га. Найпоширенішими типами лісу, в яких росте цей деревний вид, є волога смереково-букова яличина і суяличина (Герушинський, 1996). Ялиця, смерека і бук, які входять до складу деревостанів у цих типах лісу, характеризуються подібним лісовідновним потенціалом. Однак найбільше він проявляється у ялиці, меншою мірою у смереки і бука. Відомо, що підріст *Abies alba* може рости під наметом деревостанів 100 і більше років, перебуваючи в депресивно-му стані (Швиденко, 1980).

Механізми тінювитривалості підросту деревних видів ґрунтуються на морфофізіологічній лабільності до умов середовища та особливо – до зміни світлового режиму. У роботі китайських дослідників на прикладі підросту сосни кедрової показано фізіологічні зміни у його функціонуванні за різного світлового режиму (Wenkai et al., 2023). В Україні дослідженню особливостей життєдіяльності підросту деревних видів приділено недостатньо уваги. За останні 20-25 років опубліковано лише одну наукову працю (Заїка, Дерех, 2014), в якій показано біосинтез пластидних пігментів підростом бука і дуба у деревостанах зеленої зони м. Львова на ділянках різного ступеня дигресії. Проведення таких досліджень є доволі актуальним, оскільки дає змогу встановити розмах морфофізіологічної мінливості підросту деревних видів на різних етапах його формування та розробити практичні рекомендації щодо встановлення лісогосподарськими заходами сприятливих умов для функціонування молодого покоління лісу.

Мета роботи полягає у виявленні особливостей лісовідновних процесів у смереково-буково-ялицевих деревостанах в умовах вологої смереково-

букової суяличини та впливу умов середовища на морфофізіологічні показники підросту ялиці білої.

Об'єкти та методи дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси лісовідновлення в ялицевих деревостанах вологої смереково-букової суяличини та морфофізіологічні особливості формування підросту ялиці білої. Предмет дослідження – кількість підросту характерних деревних видів для умов вологої смереково-букової суяличини, його фізіологічний стан і зв'язок з інтенсивністю освітлення.

Програмою дослідження передбачено вивчення таких аспектів: лісівничо-таксаційні показники деревостанів на дослідних ділянках; лісовідновні процеси в деревостанах (кількість підросту деревних видів та його розподіл за групами висот і трапляння); освітленість під наметом деревостанів та її вплив на формування підросту; морфолого-анатомічні показники хвої підросту ялиці білої; біосинтез пластидних пігментів підростом деревних видів; діелектричні показники підросту ялиці білої; вплив інтенсивності освітлення на морфофізіологічні процеси у підросту ялиці білої.

Дослідження проводили в смереково-буково-ялицевих 90-110-річних деревостанах, які ростуть в умовах вологої смереково-букової суяличини Мізунського лісництва філії «Вигодське лісове господарство». Закладання пробних площ з метою визначення таксаційних показників деревостанів проводили за загальновизнаною у лісівничій практиці методикою (Площі пробні..., 2006).

Встановлення кількості підросту деревних видів проводили за апробованою методикою (Ткач, Лук'янець, Румянцев, 2014). На ділянках закладали по 25 площадок розміром 2 × 2 м (4 м²), які рівномірно розташовували по площі. Під час обліку підросту виокремлювали самосів однорічного віку. Підріст старшого віку поділяли за висотою на три групи: до 0,5 м – дрібний; 0,6-1,5 м – середній; 1,6-2,5 м – великий.

Рівномірним вважається розміщення підросту цінних деревних видів із показником трапляння 66% і більшим, не рівномірним – 40-65%, куртинами – менше 40% (Вишневецький, 2015).

Вплив інтенсивності освітлення на життєдіяльність підросту ялиці досліджували в ялицевому деревостані з домішкою смереки і бука на ділянці 1, де підріст розміщений куртинами. Усього під наметом деревостану підібрано 12 дослідних площадок та одну контрольну на зрубі. На них досліджено зміну інтенсивності освітлення протягом дня, біометричні показники підросту ялиці, морфолого-анатомічні показники хвої, вміст пластидних пігментів та діелектричні показники.

Зразки хвої для визначення морфолого-анатомічних показників відбирали на кожній площадці у кількості 20 шт. з 8-10 екземплярів підросту ялиці. Анатомічну будову хвої досліджували за допомогою мікроскопа МБС-10. Поперечні зрізи

робили в середній частині хвоїнок. Площу їх поперечного перерізу і поверхні визначали, відповідно, за формулами 2.1 і 2.2 (Герушинський та ін., 1983):

$$S_{\text{nn}} = 0,098 \times (b + 2r)^2, \quad (2.1)$$

$$S_{\text{пов}} = 1,143 \times l \times (1,137b + r), \quad (2.2)$$

де S_{nn} – площа поперечного перетину хвоїнки, мм²; $S_{\text{пов}}$ – площа поверхні хвоїнки; b – ширина хвоїнки, мм; r – товщина хвоїнки, мм; l – довжина хвоїнки, мм.

Визначення вмісту пластидних пігментів проводили спектрометричним методом (Казаків, 2000). Для цього 80-100 мг подрібненої хвої розтирали до однорідної маси і екстрагували 96%-им етанолом. Екстракт фільтрували через фільтр Шотта з пористістю 16, а об'єм витяжки доводили до 25 мл. Оптичну густину розчинів визначали на спектрофотометрі ULAB 102UV за довжини хвилі 440,5, 649 і 665 нм. Концентрацію хлорофілів (С) розраховували за формулами Вернона: $C_a = 13,70 \times A_{665} - 5,76 \times A_{649}$ (мг/л), $C_b = 25,80 \times A_{649} - 7,60 \times A_{665}$ (мг/л), а каротиноїдів – за формулою Веттштейна $S_{\text{кар}} = 4,695 \times A_{440,5} - 0,268 \times (C_a + C_b)$, мг/л. Вміст пігментів (А) розраховували на абсолютно суху масу:

$$A = \frac{C \times V}{P \times 1000} \times K \quad (2.3)$$

де: A – вміст пігментів, мг/г абс. сух маси; V – об'єм витяжки пігментів, мл; P – наважка рослинного матеріалу, г; C – концентрація пігментів, мг/л; K – коефіцієнт усування хвої.

Діелектричні показники (імпеданс і поляризаційну ємність) прикамбіальних тканин лубу підросту ялиці визначали з використанням приладу Ф 4320. Вимірювання проводили на частоті 1 кГц.

Електроди вводили в луб підросту на рівні кореневої шийки. Відстань між електродами становила 2 см один від одного (Криницький, 1992).

Інтенсивність освітлення під наметом деревостанів і на відкритій місцевості вивчали шляхом вимірювання показника на рівні підросту в різних точках дослідних площадок. Для вимірювань використовували люксметр Ю-116.

Отримані експериментальні дані обробляли статистичними методами (Горошко, Миклуш, Хомюк, 2004), а визначення таксаційних показників деревостанів здійснювали за методами лісової таксації (Гром, 2005).

Результати дослідження (Research results).

Дослідження проведено на шести ділянках. У деревостанах на ділянках 2-6 було здійснено перший прийомом двоприйомної рівномірнопоступової рубки. У деревостані на ділянці 1 рубку не проводили і він слугував контролем. Лісівничо-таксаційні показники деревостанів наведено в табл. 1.

На дослідних ділянках деревостани переважно ростуть за II-I класами бонітету, в яких ялиця характеризується середньою висотою 25,6-30,8 м і діаметром 27-38,6 см. Відставання ялини за середньою висотою від ялиці на дослідних ділянках становить 9,1-31,5, а діаметра – 16,3-41,5%. Бук за висотою росте повільніше, ніж ялиці на 0,8-24,7%. Проте за середнім діаметром він переважає ялицю на ділянках 3 і 5 на 1,3-8,8%, а на інших – поступається на 12,6-34,5%. У складі деревостанів після першого прийому рубки абсолютно переважає ялиця біла з часткою 8-10 одиниць. Густота не висока і становить 236-398 дерев на 1 га. Запас деревини змінюється в межах 239-391 м³·га⁻¹, а абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹.

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на дослідних ділянках

Table 1. Forest-mensuration indicators of forest stands on experimental plots

№ пр. пл.	Кв./ вид	А, років	Індекс деревного виду	Таксаційні показники деревостанів після рубки					
				N, дерев	H, м	D, см	G, м²·га ⁻¹	M, м³·га ⁻¹	Склад деревостану
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8/4.2	105	Яцб	763	22,0	29,2	51,2	655	10Яцб + Бкл, Яле
			Яле	6	11,0	16,0	0,1	1	
			Бкл	19	18,1	27,8	1,1	11	
Разом				788			52,3	667	
2	8/4.1	105	Яцб	199	25,6	31,8	15,8	206	9Яцб1Бкл + Сз, Яле
			Яле	23	19,9	18,6	0,6	7	
			Бкл	17	23,8	27,8	1,0	13	
			Сз	2	21,6	25,4	1,2	13	
Разом				241			18,6	239	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	16/8.4	90	Яцб	331	25,7	32,0	26,5	355	10Яцб + Бкл, Яле, Кля, Бп
			Яле	54	18,5	22,5	2,2	22	
			Бкл	11	23,6	32,4	0,9	11	
			Кляв	1	25,0	44,0	0,2	2	
			Бп	1	24,9	32,0	0,1	1	
Разом				398		29,9	391		
4	13/10.3	95	Яцб	141	27,1	37,1	15,2	212	8Яцб1Яле1Бкл + Бп
			Яле	41	24,4	29,5	2,8	36	
			Бкл	33	20,4	24,3	1,6	17	
			Бп	21	23,5	28,9	1,2	15	
Разом				236		20,8	280		
5	33/5.4	110	Яцб	302	25,3	30,6	22,1	298	9Яцб1Бкл + Яле
			Яле	4	23,0	25,6	0,2	3	
			Бкл	20	25,1	33,3	1,7	22	
Разом				326		25,0	323		
6	8/7.2	95	Яцб	188	30,8	38,6	22,0	331	10Яцб + Бкл, Яле
			Яле	18	21,1	25,0	0,9	10	
			Бкл	3	24,4	31,8	0,2	3	
Разом				326		23,1	344		

Примітка. Яцб – ялиця біла, Яле – ялина європейська (См – смерека), Бкл – бук лісовий, Кля – клен-явір, Бп – береза повисла, Сз – сосна звичайна.

На ділянці 1 сформувався високоповнотний різновіковий ялицевий деревостан (див. табл. 1). У 105-річному віці загальна густота дерев у ньому становить 788 екз./га, а запас стовбурової деревини – 667 м³·га⁻¹. За середньої висоти дерев ялиці білої 22,0 м і діаметра 29,2 см вона перевищує за цими показниками ялину європейську і бука лісового.

Аналіз розподілу дерев у деревостані на ділянці 1 за ступенями товщини засвідчує, що за середнього діаметра дерев ялиці 29,2 см значна їх кількість (60%) мають істотно менший діаметр і входять до нижчих ступенів товщини, які представлені молодим поколінням лісу (рис. 1).

За аналізом даних рис. 1, у деревостані зосереджені дерева різних вікових категорій. Під час проектування способу рубки в ялицевих деревостанах необхідно враховувати їхню вікову, горизонтальну і вертикальну структуру та наявність підросту і характер його розміщення. У такому різновіковому ялицевому деревостані проведення рівномірно-поступової двопріємної рубки є нецільним, оскільки він порушить природний

процес розвитку лісу. Доцільним є застосування добровільно-вибіркової, а за наявності попереднього поновлення з розташуванням підросту у вигляді куртин – у поєднанні з групово-поступовою рубкою. У деревостані на цій ділянці трапляються дерева ялиці білої з діаметром 77 см і більше, висотою понад 30 м та добре розвиненою кроною (рис. 2).

В межах проекції крони такого великого дерева відсутній підріст деревних видів і дуже слабо розвинутий живий надґрунтовий покрив. Такі дерева вже давно досягли віку технічної стиглості і поступово втрачають технічну придатність та підлягають зрубуванню у першу чергу в процесі добровільно-вибіркової рубки. Застосування добровільно-вибіркової і групово-поступової рубок у різновікових ялицевих деревостанах спрямовано на стимулювання природного поновлення лісу, створення сприятливих умов для росту молодого покоління лісу і дерев низьких ступенів товщини. За середнього діаметра ялиці 29,2 см частка її дерев з діаметром, меншим від середнього, становить 68%, зокрема дерев 6-16 ступенів товщини – 57% (див. рис. 1).

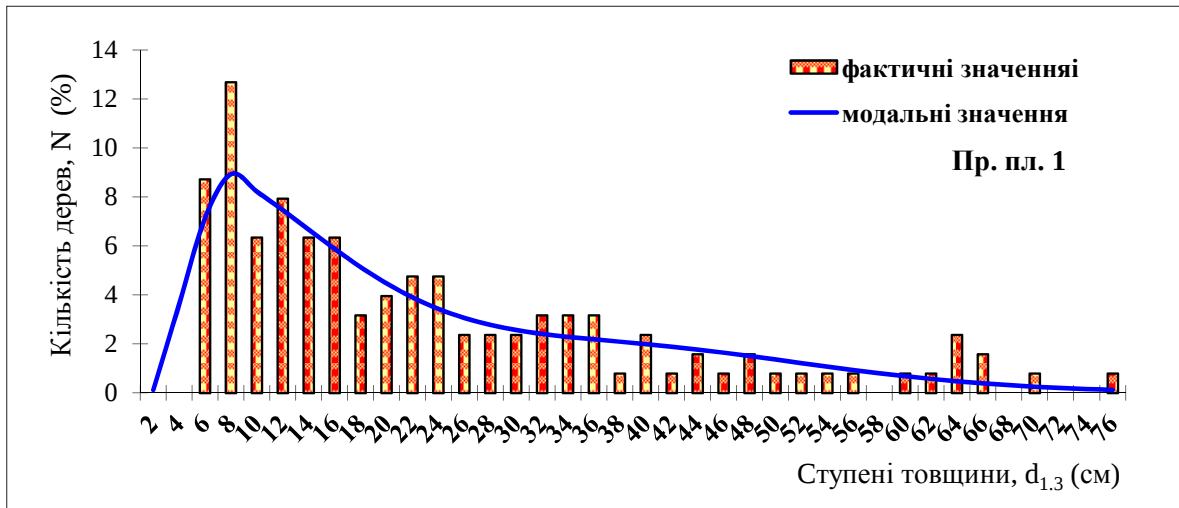


Рис. 1. Розподіл дерев у деревостані на пр. пл. 1 за ступенями товщини

Fig. 1. Distribution of trees in the stand on plot 1 by diameter classes

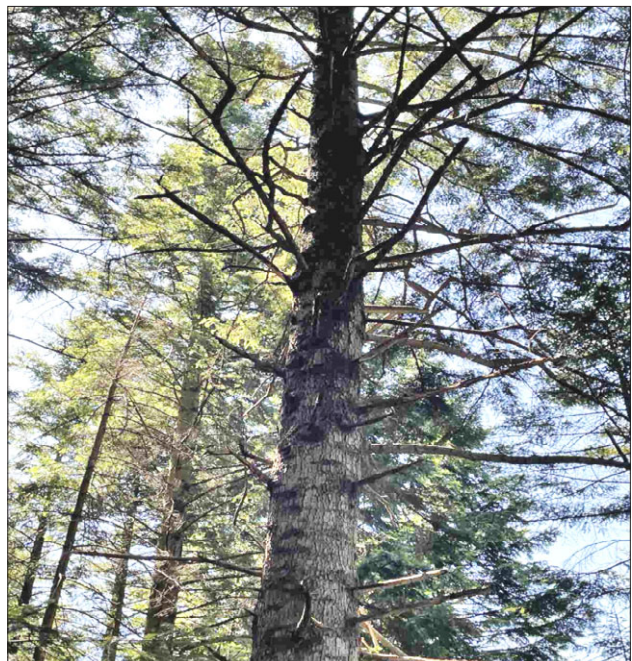


Рис. 2. Дерево ялиці білої завтовшки 85 см і діаметром проекції крони 15 м

Fig. 2. Silver fir tree with a diameter of 85 cm and a crown projection diameter of 15 m

Основним принципом ведення лісового господарства є забезпечення природного насінного поновлення деревостанів, які в майбутньому характеризуватимуться високою продуктивністю та біологічною стійкістю. Одним із напрямів стимулювання лісовідновних процесів є проведення різних систем і способів рубок. Такі рубки повинні проводитися з урахування біологічних особливостей деревних видів, періодичності їх плодоношення та лісівничо-таксаційних показників материнських деревостанів.

В умовах вологої смереково-букової суялицини для формування корінного деревостану з орієнтовним видовим складом 6ЯцбЗБкл1См важливим є поновлення ялиці, бука і смереки. Результати

дослідження лісовідновних процесів приведено в табл. 2.

З табл. 2 видно, що підріст ялиці, ялини та бука присутній на всіх шести ділянках. У деревостанах (діл. 2-6) спостережено добре поновлення ялиці (6,75-14,75 тис. екз./га), смереки (2,17-5,42) і бука лісового (0,47-3,50). На окремих ділянках трапляється підріст сосни звичайної (2,41 тис. екз./га) і клена-явора (1,08-1,25). Загальна кількість підросту деревних видів становить 15,49-17,00 тис. екз./га. У його складі переважає підріст ялиці білої з часткою 42,4-86,8%. Частка ялини у складі підросту на ділянках 2, 3, 5 і 6 змінюється в межах 13,2-34,3%. Підріст бука, який трапляється на ділянках 2-4 і 6, посідає частку від 2,9 до 22,6% (див. табл. 2).

Таблиця 2. Кількість підросту деревних видів за групами висот
Table 2. Number of young growth of tree species by height groups

№ пр. пл.	Індекс деревного виду	Групи висот, м				Разом	
		самосів	<0,5	0,5-1,5	>1,5	тис. екз./га	%
1	Яцб	1,35	4,04	1,34	2,05	8,78	94,4
	Яле	0,20	0,15	—	—	0,35	3,8
	Бкл	0,02	0,04	0,11	—	0,17	1,8
Разом	тис. екз./га	1,57	4,23	1,45	2,05	9,30	
	%	16,9	45,5	15,6	22,0		100,0
2	Яцб	0,25	2,33	4,83	—	7,41	47,8
	Яле	0,17	0,83	1,17	—	2,17	14,0
	Бкл	—	1,25	2,25	—	3,50	22,6
	Сз	—	1,08	1,33	—	2,41	15,6
Разом	тис. екз./га	0,42	5,49	9,58	—	15,49	
	%	2,7	35,4	61,8	—		100,0
3	Яцб	0,25	5,33	1,17	—	6,75	42,4
	Яле	0,17	1,50	2,83	—	4,50	28,3
	Бкл	0,25	1,33	1,83	—	3,42	21,5
	Кляв	0,08	0,33	0,83	—	1,25	7,8
Разом	тис. екз./га	0,75	8,50	6,67	—	15,92	
	%	4,7	53,4	41,9	—		100,0
4	Яцб	0,33	6,50	5,83	—	12,66	77,5
	Кля	0,08	0,75	0,25	—	1,08	6,6
	Бкл	—	0,42	2,17	—	2,58	15,8
Разом	тис. екз./га	0,41	7,67	8,25	—	16,33	
	%	2,5	47,0	50,5	—		100,0
5	Яцб	3,75	4,33	6,67	—	14,75	86,8
	Яле	0,58	0,75	0,92	—	2,25	13,2
Разом	тис. екз./га	4,33	5,08	7,58	—	17,00	
	%	25,5	29,9	44,6	—		100,0
6	Яцб	1,58	5,83	2,50	—	9,92	62,8
	Яле	0,25	3,17	2,00	—	5,42	34,3
	Бкл	0,05	0,42	—	—	0,47	2,9
Разом	тис. екз./га	1,88	9,42	4,50	—	15,80	
	%	11,9	59,6	28,5	—		100,0

У загальному, кількість підросту і його співвідношення за часткою деревних видів підтверджує, що на дослідних ділянках після проведення першого прийому двопріємних рівномірно-поступових рубок сформувався густий підріст, який в подальшому утворить корінний деревостан. У складі молодого покоління лісу найменше представлений

самосів 2,7-25,5%. За висотою переважає середній (28,5-61,8%) та меншою мірою – дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів.

Кореляційний зв'язок між повнотою деревостанів і кількістю підросту деревних видів виявився переважно слабким або навіть відсутнім (для ялиці $r = -0,14$; для бука $r = 0,08$) та помірним (смерека,

$r = 0,44$). У деревостані на пр. пл. 1 загальна кількість підросту деревних видів становить 9,30 тис. екз./га (див. табл. 2). У його складі переважає підріст ялиці – 8,78 тис. екз./га або 94,4%. Частка самосіву становить 16,9%. За висотою перевагу має дрібний підріст (45,5%). У деревостані добре (22,0%) представлений також великий підріст ялиці білої.

Рівномірність розміщення підросту деревних видів характеризує показник трапляння (табл. 3).

Таблиця 3. Трапляння підросту деревних видів
Table 3. The occurrence of young growth of tree species

№ пр. пл.	Деревний вид, %			Разом, %
	ялиця біла	ялина європейська	бук лісовий	
1	35,8	12,7	8,3	35,8
2	73,0	46,6	36,6	93,3
3	86,6	56,6	36,6	96,6
4	96,6	–	40,0	100,0
5	90,0	63,3	–	90,0
6	90,0	63,3	76,6	93,3

Трапляння підросту деревних видів на переважній кількості ділянок (2-6) становить 90,0-100,0%. Проведення першого прийому двопрійомної рівномірно-поступової рубки позитивно вплинуло на рівномірність поширення підросту. Найкращим рівномірним поширенням по ділянці серед

деревних видів характеризується підріст ялиці білої, її трапляння змінюється в межах 73,0-96,6%. Трапляння підросту ялини становить 46,6-63,3%, а бук – 36,6-76,6%. На пр. пл. 1 підріст деревних видів розташований куртинно з траплянням 35,8% (рис. 3).

У деревостані пр. пл. 1 виконано дослідження морфологічної реакції підросту ялиці білої на умови світлового режиму. Для дослідження підібрано дослідні площадки підросту ялиці білої, розташованого куртинами. Результати дослідження наведено в табл. 4.

Біометричні показники підросту ялиці білої в межах деревостану доволі мінливі. Його середня висота змінюється від 21 до 119 см, а приріст за висотою – від 1,6 до 9,1 см. За висотою і поточним лінійним приростом підріст ялиці білої істотно відстає від контролю. Отже, під наметом деревостану склалися несприятливі умови для ростових процесів ялицевого підросту. Він знаходиться у депресивному стані через недостатнє освітлення. Найкращі умови для росту молодого покоління ялиці склалися на площадці 11, де приріст пагонів підросту значно (на 28,2%) перевищує приріст на контролі.

Дослідження морфометричних показників та кількості продихів у хвої підросту ялиці підтверджує істотний вплив деревостану на їх формування (табл. 5, 6). Встановлено суттєве зменшення біометричних показників хвої підросту дослідних варіантів щодо контролю. Так, довжина хвоїнок у дослідних варіантах є меншою, ніж на контролі, на 22,0-45,3% ($t_{\phi} = 5,08-10,98$ при $t_{05} = 2,02$), товщина – на 20,0-62,2% ($t_{\phi} = 4,02-19,80$), площа поперечного перерізу – на 18,2-45,3% ($t_{\phi} = 3,20-14,55$), площа поверхні хвоїнок – на 32,7-54,8% ($t_{\phi} = 6,05-11,70$). Найменші зміни виявились за показником ширини хвої. Вона у дослідних варіантах менша лише на 1,4-15,7% ($t_{\phi} = 0,47-6,13$).



Рис. 3. Куртинне розташування підросту ялиці білої на пробній площі 1

Fig. 3. Curtain arrangement of silver fir young growth on the sample plot 1

Таблиця 4. Біометричні показники підросту *Abies alba* на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 4. Biometric indicators of *Abies alba* young growth at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Висота, см			Приріст за висотою, см		
	M±m	t _ф	%	M±m	t _ф	%
Контроль	119±5	0,00	100,0	7,1±0,9	0,00	100,0
1	21±1	19,22	17,6	2,1±0,2	5,42	29,6
2	66±5	7,50	55,5	5,1±0,3	2,11	71,8
3	28±2	16,90	23,5	2,7±0,3	4,64	38,0
4	50±3	11,83	42,0	2,2±0,3	5,17	31,0
5	23±1	18,83	19,3	1,6±0,2	5,97	22,5
6	24±1	18,63	20,2	2,7±0,4	4,47	38,0
7	41±2	14,48	34,5	2,2±0,3	5,17	31,0
8	60±3	10,12	50,4	2,1±0,3	5,27	29,6
9	28±1	17,85	23,5	3,0±0,3	4,32	42,3
10	119±7	0,00	100,0	2,8±0,4	4,37	39,4
11	73±4	7,18	61,3	9,1±0,7	1,75	128,2
12	93±8	2,76	78,2	3,4±0,5	3,59	47,9

Примітки. 1. Теоретичне значення t-критерію Ст'юдента на 95% рівні ймовірності становить 2,10. 2. Контролем слугував підріст ялиці білої на зрубі.

Таблиця 5. Морфологічні показники однорічної хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (пр. пл. 1)

Table 5. Morphological indicators of one-year-old needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Довжина, мм		Ширина, мм		Товщина, мм		Площа поперечного перерізу, мм ²		Площа поверхні, мм ²	
	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%
Контроль	29,6±1,0	14,5	2,10±0,05	10,0	0,45±0,01	8,9	0,88±0,03	16,5	96,1±4,3	20,0
1	16,2±0,7	18,0	1,89±0,04	9,3	0,17±0,01	15,1	0,49±0,02	16,7	43,4±2,3	29,6
2	16,4±0,7	20,1	1,90±0,03	5,9	0,22±0,01	19,8	0,53±0,02	12,7	44,2±1,8	18,2
3	19,5±0,8	20,7	2,16±0,03	6,7	0,27±0,02	34,9	0,72±0,04	22,7	60,7±3,2	23,6
4	19,9±0,9	19,6	1,92±0,06	10,4	0,20±0,01	17,2	0,54±0,03	26,2	55,0±3,9	32,0
5	16,9±0,6	15,3	1,77±0,02	5,2	0,17±0,01	24,2	0,42±0,01	10,5	42,0±1,7	17,9
6	19,6±0,7	16,4	1,95±0,03	7,3	0,36±0,02	18,8	0,51±0,02	15,2	53,6±2,4	20,0
7	21,1±0,7	15,5	2,07±0,04	9,1	0,24±0,01	13,6	0,64±0,02	16,8	63,3±3,3	23,2
8	19,5±0,7	17,1	1,93±0,02	5,8	0,26±0,01	11,4	0,59±0,01	9,0	55,2±2,4	19,2
9	19,5±0,8	19,2	2,03±0,04	9,8	0,24±0,01	17,4	0,62±0,03	19,2	57,2±3,0	23,8
10	18,7±0,8	16,7	1,84±0,03	7,9	0,21±0,01	17,4	0,50±0,01	13,1	47,7±2,0	18,9
11	23,1±0,8	14,7	1,96±0,04	8,3	0,22±0,01	18,7	0,57±0,02	15,9	64,7±2,4	16,8
12	21,1±0,6	12,6	1,89±0,03	7,9	0,23±0,01	15,2	0,55±0,02	15,1	57,7±2,1	16,1

Таблиця 6. Кількість продихів в однорічній хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (пр. пл. 1)

Table 6. Number of stomata in one-year-old needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	К-сть продихів на 1 мм ряду, шт.		К-сть рядів продихів на 1 мм, шт.		К-сть продихів на 1 мм ² , шт.	
	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%
Контроль	10,3±0,2	9,0	6,7±0,2	13,2	68,4±2,3	14,9
1	9,5±0,2	11,6	7,2±0,2	11,6	68,3±3,9	19,0
2	11,0±0,3	13,2	8,1±0,2	11,7	88,9±4,3	19,7
3	10,3±0,3	13,0	7,6±0,2	13,8	78,2±3,0	17,0
4	9,8±0,3	11,9	8,5±0,3	15,1	82,3±3,3	17,9
5	9,6±0,2	10,9	8,3±0,2	11,8	80,2±3,5	19,6
6	9,9±0,3	12,0	8,5±0,3	14,0	83,6±3,3	17,8
7	10,6±0,3	10,9	7,8±0,3	18,2	82,6±4,1	22,7
8	10,3±0,2	8,4	8,8±0,2	10,2	90,3±1,9	9,3
9	10,2±0,3	12,6	8,9±0,3	12,6	91,8±4,2	19,8
10	10,6±0,3	10,8	8,6±0,3	13,8	91,8±4,4	21,3
11	10,8±0,2	9,5	7,9±0,4	19,9	85,0±4,7	24,7
12	10,4±0,3	11,4	8,2±0,2	10,7	84,8±3,4	17,9

Відмінності у кількості продихів на 1 мм ряду між контролем і дослідними варіантами виявились загалом не істотними (див. табл. 6). Так, у хвої ялиці на контролі їхня середня кількість становить 10,3 шт., а на дослідних площадках під наметом материнського деревостану змінювалась від 9,6 до 11,0 шт. Відмінності, порівняно з контролем, становили не більше 7,8%. Водночас кількість рядів продихів на 1 мм у хвої підросту ялиці під наметом деревостанів істотно – на 7,5-32,8% ($t_{\Phi} = 2,68-7,42$) перевищує контроль. Загальна кількість продихів у хвої дослідних варіантів становить 68,3-91,8 шт./мм² і є істотно вищою – на 14,3-34,2% ($t_{\Phi} = 2,59-7,34$), ніж на контролі. Таким чином ялицевий підріст, що розвивається під наметом деревостанів, формує хвою з біометричними показниками, суттєво нижчими порівняно з контролем. Водночас кількість продихів у хвої є істотно вищою.

Стратегія виживання підросту деревних видів під наметом деревостанів, за недостатньої інтенсивності освітлення, полягає у формуванні механізмів вловлювання і використання для фотосинтезу світлової енергії. Тут важливе значення має здатність адаптації деревних видів до лабільності фотосинтетичного апарату та його пристосування до вловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії. Одним із механізмів такого пристосування є збільшення біосинтезу пластидних пігментів та зміни у співвідношенні між ними.

Підріст ялиці білої характеризується великою мінливістю біосинтезу пластидних пігментів під наметом деревостанів (табл. 7).

Так, вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані змінюється в межах 2,644-5,297, а жовтих – 0,259-0,974 мг/г абс. сух. маси. Ці показники на дослідних площадках перевищують контроль за вмістом хлорофілів на 48,9-198,2, а каротиноїдів – на 16,7-168,9%. На окремих площадках (6 і 9) встановлено зниження вмісту каротиноїдів відносно контролю на 20,1-28,4%.

Вміст пластидних пігментів у дворічній хвої підросту ялиці також змінюється в достатньо широкіх межах. Сумарний вміст хлорофілів змінюється від 3,664 до 6,384, а каротиноїдів – від 0,410 до 1,099 мг/г абс. сух. маси (див. табл. 7). За показниками вмісту пластидних пігментів у дворічній хвої відмінності з контролем виявились значно меншими, ніж в однорічній. Так, за вмістом зелених пігментів підріст ялиці під наметом деревостану перевищує контроль на 14,6-51,3% лише на площадках 2-4, 6, 7, 10-12, а на інших – відстає від контролю на 1,3-13,1%. Подібні відмінності між контролем і дослідними варіантами виявлено також за вмістом каротиноїдів. На одних площадках (2-5, 7, 10-12) вміст жовтих пігментів виявився вищим від контролю на 8,1-26,2, а на інших (1, 6, 8, 9) – меншим на 36,8-54,6%.

Таблиця 7. Вміст пластидних пігментів у хвої підросту ялиці білої на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 7. The content of plastid pigments in silver fir young growth at the experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ пр. пл.	Вік хвої, років	Вміст пігментів, мг/г абс. сух. маси				Відношення	
		хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>c</i>	<i>a/b</i>	<i>(a+b)/c</i>
Контроль	1	1,266	0,510	1,776	0,362	2,48	4,90
	2	3,068	1,150	4,218	0,904	2,67	4,67
1	1	1,970	0,821	2,791	0,423	2,40	6,60
	2	2,635	1,318	3,953	0,434	2,00	9,10
2	1	3,751	1,546	5,297	0,974	2,43	5,44
	2	4,413	1,971	6,384	1,141	2,24	5,60
3	1	2,959	1,171	4,130	0,778	2,53	5,31
	2	3,696	1,539	5,235	1,018	2,40	5,14
4	1	3,130	1,350	4,480	0,785	2,32	5,71
	2	3,873	1,776	5,649	0,985	2,18	5,73
5	1	1,945	0,795	2,740	0,760	2,45	3,61
	2	2,997	1,149	4,146	1,012	2,61	4,10
6	1	1,848	0,932	2,780	0,286	1,98	9,73
	2	3,180	1,653	4,833	0,488	1,92	9,90
7	1	2,695	1,087	3,782	0,713	2,48	5,30
	2	4,213	1,756	5,969	1,126	2,40	5,30
8	1	2,382	0,981	3,363	0,456	2,43	7,37
	2	2,731	1,431	4,162	0,410	1,91	10,15
9	1	1,788	0,856	2,644	0,259	2,09	10,20
	2	2,496	1,168	3,664	0,571	2,14	6,42
10	1	2,643	1,080	3,723	0,690	2,45	5,40
	2	4,145	1,719	5,864	1,099	2,41	5,34
11	1	3,373	1,333	4,706	0,867	2,53	5,43
	2	4,436	1,898	6,334	1,098	2,34	5,77
12	1	2,618	1,115	3,733	0,678	2,35	5,51
	2	3,749	1,562	5,311	0,977	2,40	5,44

Встановлена тенденція до зниження показника відношення хлорофілів *a/b* у дослідних варіантів ялиці білої в одно- і дворічній хвої на 1,1-28,5% та зростання відношення зелених пігментів до жовтих на 8,4-111,9%. За недостатньої освітленості у рослин посилюється роль хлорофілу *b*. Максимум поглинання сонячного світла в нього зсунутий відносно хлорофілу *a* в область далеких синьо-фіолетових і ближніх червоних променів видимого спектру. Очевидно у складі ФАР, яка проходить крізь лісовий намет, значною мірою представлений спектр далеких синьо-фіолетових і ближніх червоних променів.

Інтегральним показником інтенсивності життєдіяльності рослин виступають імпеданс і поляризаційна ємність. Результати наведені в табл. 8.

За отриманими даними, процеси життєдіяльності у підросту ялиці білої проходять на дуже низькому рівні. Спостережено високу диференціацію підросту ялиці за імпедансом і поляризаційною ємністю. Показники імпедансу підросту ялиці під наметом лісу становлять 22,1-84,3 кОм, а поляризаційної ємності – 0,63-1,74 нФ та суттєво відрізняються від контролю ($t_{\phi} = 3,72-23,50$ при $t_{05} = 2,10$). Варіабельність діелектричних показників середня і значна ($CV = 11,6-37,5\%$).

Таблиця 8. Діелектричні показники підросту ялиці білої на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 8. Dielectric parameters of silver fir young growth at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Імпеданс, кОм				Поляризаційна ємність, нФ			
	M±m	t _ф	%	CV, %	M±m	t _ф	%	CV, %
Контроль	13,6±1,1	0,00	100,0	29,2	2,39±0,15	0,00	100,0	23,7
1	84,3±2,8	23,50	619,9	11,6	0,63±0,03	11,51	26,4	17,6
2	39,5±4,4	5,71	290,4	35,1	1,04±0,05	8,54	43,5	20,7
3	46,9±3,3	9,57	344,9	26,5	1,03±0,04	8,76	43,1	15,0
4	46,7±3,7	8,58	343,4	27,5	0,95±0,04	9,28	39,7	14,9
5	76,7±3,0	19,75	564,0	11,8	0,67±0,06	10,65	28,0	27,0
6	58,6±2,4	17,04	430,9	14,5	0,89±0,07	9,06	37,2	26,5
7	39,6±1,8	12,33	291,2	16,7	1,10±0,04	8,31	46,0	13,7
8	44,8±4,0	7,52	329,4	35,7	0,97±0,08	8,35	40,6	33,5
9	44,2±3,0	9,58	325,0	26,1	1,20±0,08	7,00	50,2	24,6
10	28,9±2,9	4,93	212,5	37,5	1,10±0,09	7,37	46,0	32,6
11	22,1±1,3	4,99	162,5	25,6	1,74±0,09	3,72	51,8	24,4
12	25,5±1,5	6,40	187,5	24,2	1,27±0,07	6,77	53,1	23,8

Примітка. Теоретичне значення t-критерію Ст'юдента на 95% рівні ймовірності становить 2,10

Основним чинником, від якого залежить ріст і функціонування підросту під наметом деревостанів, є освітлення. Середня кількість світла, яке проникає до підросту впродовж дня на дослідні площадки 105-річного ялицевого деревостану, становить 0,4-7,2%. При цьому переважають площадки з освітленістю 0,4-4,3%. Результати кореляційного аналізу впливу інтенсивності освітлення на морфологічні особливості функціонування підросту ялиці білої наведені в табл. 9.

Інтенсивність світла, яке проникає до підросту на дослідні площадки в межах 0,4-7,2%, виявила переважно слабкий вплив на формування морфометричних показників хвої ялиці (див. табл. 9). Чутливішим до інтенсивності освітлення виявився біосинтез пластидних пігментів. Так, в 1-річній хвої між інтенсивністю світла і вмістом зелені пігментів встановлено помірний і значний зворотний ($r = -0,465 - -0,580$) кореляційний зв'язок, який засвідчує, що із зменшенням кількості світла вміст хлорофілів зростає. Причому ця залежність більшою мірою проявляється в біосинтезі хлорофіла *a*, ніж хлорофіла *b*. Біосинтез каротиноїдів у хвої підросту ялиці ще більше залежить від світлового режиму. Коефіцієнт кореляції між цими показниками становить $-0,797$. Високий зворотний кореляційний зв'язок ($r = -0,713$) спостережено між інтенсивністю освітлення і показниками відношення хлорофілів *a/b* та високий

прямий ($r = 0,830$) – з показниками відношення суми хлорофілів до каротиноїдів.

У 2-річній хвої зв'язок між вмістом хлорофілів та інтенсивністю освітлення є зворотним слабким або помірним ($r = -0,203 - -0,477$). Вплив освітлення на біосинтез жовтих пігментів у 2-річній хвої істотно зростає. Коефіцієнт кореляції між цими показниками становить $-0,708$. Значним і високим кореляційним зв'язком характеризуються вплив інтенсивності освітлення на показники відношення хлорофілів *a/b* ($r = -0,660$) і з показниками суми хлорофілів до каротиноїдів ($r = 0,747$). Кореляційний аналіз засвідчує, що в умовах недостатності світлової енергії зростає роль у поглинанні світлової енергії хлорофіла *b* і каротиноїдів. Також встановлено, що біосинтез пластидних пігментів в однорічній хвої є чутливішим до інтенсивності освітлення, ніж у дворічній. Очевидно довготривале функціонування хвої в умовах недостатньої освітленості призводить до пригнічення біохімічних процесів на різних етапах біосинтезу пластидних пігментів.

Поряд з цим, нами не встановлено впливу інтенсивності освітлення під наметом деревостану на діелектричні показники прикамбіальних тканин луба у підросту ялиці білої. Всі процеси життєдіяльності ялицевого підросту за проникнення світла у межах 0,4-7,2% перебувають у депресивному стані.

Таблиця 9. Кореляційні зв'язки морфофізіологічних показників підросту ялиці білої з інтенсивністю освітлення на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 9. Correlations between morphophysiological indicators of silver fir young growth and light intensity at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

Морфометричні показники хвої	<i>r</i>	Вміст пластидних пігментів	<i>r</i>	Діелектричні показники	<i>r</i>
Довжина	0,270	в 1-річній хвої			
Ширина	0,171	Хлорофіл <i>a</i>	-0,580	Імпеданс	0,079
Товщина	0,736	Хлорофіл <i>b</i>	-0,465	Поляризаційна ємність	0,040
Площа поперечного перерізу	0,056	Сума хл. <i>a+b</i>	-0,553	—	—
Площа поверхні	0,259	Каротиноїди <i>c</i>	-0,797	—	—
К-сть продихів на 1 мм ряду	-0,156	Відношення <i>a/b</i>	-0,713	—	—
К-сть рядів продихів на 1 мм	0,413	Відношення $(a+b)/c$	0,830	—	—
К-сть продихів на 1 мм ²	0,227	в 2-річній хвої			
—	—	Хлорофіл <i>a</i>	-0,477	—	—
—	—	Хлорофіл <i>b</i>	-0,203	—	—
—	—	Сума хл. <i>a+b</i>	-0,411	—	—
—	—	Каротиноїди <i>c</i>	-0,708	—	—
—	—	Відношення <i>a/b</i>	-0,660	—	—
—	—	Відношення $(a+b)/c$	0,747	—	—

Для з'ясування морфофізіологічної реакції підросту ялиці білої на умови піднаметового середовища в 105-річному ялицевому деревостані, здійснено кластерний аналіз отриманих результатів. Для цього використано такі показники: поточний лінійний приріст пагонів, довжина хвої, площа по-

перечного перерізу і поверхні хвої, кількість продихів на 1 мм² хвої, вміст хлорофілів і каротиноїдів у 1- і 2-річній хвої. Показники представлені у відносних одиницях. Розподіл площадок за морфофізіологічними показниками хвої підросту ялиці наведено на рис. 4.

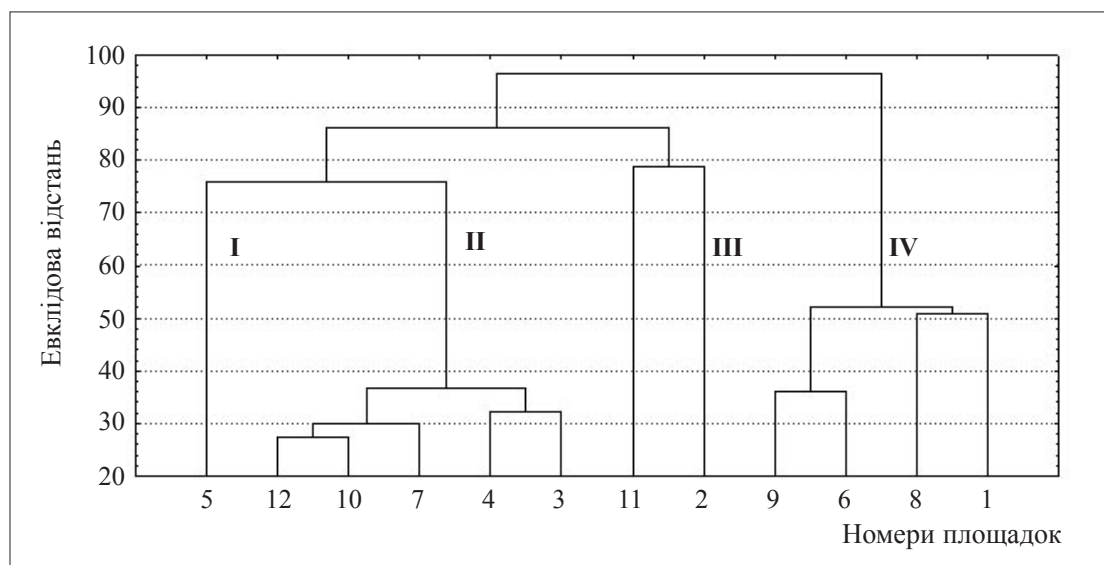


Рис. 4. Дендрограма зв'язків між дослідними площадками за морфофізіологічними показниками хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (метод повного зв'язування)

Fig. 4. Dendrogram of relationships between experimental sites according to morphophysiological indicators of needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (complete linkage method)

Отже, за характером морфофізіологічних змін відбулась значна диференціація ялицевого підросту на дослідних площадках. Утворилось чотири групи, відмінності підросту між якими є доволі значними. До першої групи входить підріст ялиці на площадці 5, морфофізіологічні показники якого істотно відрізняються від підросту ялиці другої групи площадок (3, 4, 7, 10 і 12). Третю групу сформував підріст ялиці, який росте на площадці 2 і 11, а четверту – на площадках 1, 8, 6, 9.

Таким чином, отримані результати аналізу дають змогу диференціювати ялицевий підріст за морфофізіологічними змінами під дією чинників лісового середовища.

Дискусія (Discussion).

Ялицеві деревостани в Українських Карпатах залишаються одними із найпоширеніших після букових і смерекових (Голубець, 1988; Герушинський, 1996; Гриник, 2011; Бродович та ін., 2013; Васишин, 2013; Коляджин, 1999; Лосюк та ін., 2022; Ванджурак, Дебринюк, Савчин, 2023). Унаслідок штучного створення ялинових лісів після зрубів ялицевих, площа останніх в Україні за останні 150-200 років скоротилася на 30% (Голубець, 1988) та зберігається тенденцію до подальшого її скорочення. Так, станом на 1988 р. площа ялицевих лісів в Українських Карпатах становила 64,4 тис. га (Герушинський, 1996), а станом на 2004 р. – лише 58 тис. га (Гриник, 2011). Поряд із скороченням площі ялицевих деревостанів дослідники вказують на істотне зниження їхньої продуктивності (Голубець, 1988; Бродович, Порада, Равлюк, 2003; Коляджин, 2011; Тереля, 2004) та погіршення санітарного стану до незадовільного (Бродович, Порада, Равлюк, 2003). Скорочення площі ялицевих деревостанів спостережено також і в інших європейських країнах. Так, в окремих районах Хорватії існує загроза зникнення ялицевих лісостанів (Ugarković et al., 2021). Водночас, В. П. Лосюк та ін. (2022), П. І. Ванджурак та ін. (2023) вказують на тенденцію до зростання в останнє десятиріччя площі ялицевих деревостанів та достатньо добрий їхній стан, в яких кількість здорових дерев сягає 60% і більше.

Відтворення корінних деревостанів природним шляхом відбувається не завжди. Часто на місці корінних деревостанів формуються похідні, які потім знову змінюються на корінні. Для відтворення і формування корінних різновікових ялицевих деревостанів необхідна система лісгосподарських заходів, спрямованих на стимулювання процесів природного поновлення і збереження підросту деревних видів. Дослідження у цьому напрямі проводяться постійно, як в Україні (Олійник, Коляджин, 1999; Коляджин, 1999, 2011, 2013; Бродович та ін., 2013; Чернявський, Теліш, Коляджин, 2014; Лосюк та ін., 2022; Ванджурак, 2024), так і в різних зарубіжних країнах (Bottalico et al., 2014; Orman et al., 2021; Kolisnyk et al., 2024; Ambs et al., 2024).

За результатами багаторічного дослідження І. Ф. Коляджин (1999, 2011, 2013) показав, що в умовах вологої смереково-букової суяличини на зрубках після суцільнолісосічних і поступових рубок формується добре поновлення деревних видів з кількістю підросту від 5,5 до 18,2 тис. екз./га, а в умовах сирій смереково-букової суяличини поновлення недостатнє. Ним же встановлено, що кількість підросту ялиці на зрубках дещо збільшується через 4-5 років після рубки деревостану. Інтенсивно відбувається поновлення також під наметом старовікових ялицевих деревостанів, де було виявлено максимальну кількість підросту – 74,0 тис. екз./га віком 9-15 років із складом 6Яцб3См1Бкл.

За даними Р. І. Бродовича та ін. (2003) успішне природне поновлення ялицевих лісів можливе лише за умови появи достатньої кількості (25-25 тис. екз./га) підросту під наметом деревостанів та створення сприятливих умов для його росту шляхом зниження повноти деревостанів до 0,5. Пропонуються також додаткові заходи, спрямовані на створення сприятливих умов для проростання насіння і запобігання конкуренції з боку живого надгрунтового вкриття, насамперед ожини (Бродович та ін., 2013).

За результатами дослідження лісовідновних процесів, проведених у гірських 100-120-річних деревостанах Західних Родопів (Болгарія), до складу яких входить ялина звичайна, бук лісовий та ялиця біла, найвищим лісовідновним потенціалом характеризується ялиця і меншим – ялина та бук (Ambs et al., 2024). При цьому найбільшу кількість ялицевого підросту виявлено на мікроділянках, які утворилися після зрубів поодиноких дерев, а на площадках після зрубів груп дерев утворилися умови для поновлення бука та ялиці, меншою мірою – ялини. Найвищу інтенсивність росту підросту визначено у ялиці і бука, дещо меншу – в ялини.

Встановлено, що на процеси лісовідновлення і формування підросту в ялицевих деревостанах впливають їх видовий склад та повнота (Kolisnyk et al., 2024). У результаті досліджень природного поновлення, проведених в ялицевих лісостанах Польщі, Німеччини та Італії, показано, що збільшення домішки листяних видів у складі ялицевих деревостанів призводить до зменшення кількості підросту. Значно вища ймовірність інтенсифікації процесу природного поновлення характерна для різновікових деревостанів, особливо в районах з нижчими температурами. Так, у старовіковому деревостані Свентокшиського національного парку (Центральна Польща) досліджено вплив інтенсивності освітлення у прогалинах лісового намету на ріст малих і великих саджанців ялиці та бука (Orman et al., 2021). Встановлено значну міжвидову відмінність реакції ростових процесів та формування архітектури крони підросту бука і ялиці залежно від освітлення в прогалинах. Bottalico et al. (2014),

досліджуючи лісовідновні процеси в ялицевих деревостанах впродовж понад 20 років, встановили значний та помірний кореляційні зв'язки ($p < 0,01$) між віком ялицевих деревостанів і середньоквадратичним діаметром ($r = 0,65$) та із запасом на 1 га ($r = 0,50$).

За результатами досліджень А.Й. Швиденка (1980), із збільшенням віку ялицевого підросту зменшується його тінювитривалість, тому важливо враховувати цю особливість під час здійснення лісогосподарських заходів у деревостанах. Оптимальні умови для виживання підросту ялиці білої до 2-3 років складаються за повноти деревостанів 0,8-0,9. Для нормального росту підросту ялиці у віці 4-7 років вже необхідна повнота деревостану 0,7 і нижче, а у старшому віці – 0,5 і нижче.

У низці праць наведено результати дослідження впливу інтенсивності освітлення на фізіолого-біохімічні процеси у підросту деревних видів (Zhu et al., 2014; Bottalico et al., 2014; Orman et al., 2021; Ugarković et al., 2021; Li et al., 2022; Wenkai et al., 2023). Зокрема, для 18-річного підросту сосни корейської було встановлено, що із збільшенням інтенсивності освітлення – від низького, середнього, високого – до повного, під наметом деревостанів спостерігається зменшення кількості пластидних пігментів і показників флуоресценції хлорофілів у хвої, але збільшується вміст глюкози, проліну, активності фермента рибулозодифосфаткарбоксиліази та антиоксидантних ферментів (Wenkai et al., 2023). Результатами дослідження засвідчили, що за повного освітлення спостерігається пригнічення фотосинтезу. В інших дослідженнях на 8-річних саджанцях сосни корейської, які вирощували в умовах освітленості 15, 30, 60 і 100% було показано, що світлове насичення фотосинтезу і точка компенсації темного дихання настає при 60% освітленості (Zhu et al., 2014). Подібні результати було отримано і під час дослідження хвої 35-річних дерев сосни корейської, які росли на великій (201 м²), середній (112 м²) і малій (50 м²) прогалинах (Li et al., 2022).

Robakowski et al. (2004) вивчали ріст та фізіологічні показники 3-річних дерев ялиці білої, які росли під наметом деревостанів з домінуванням у їхньому складі *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* або *Larix decidua*. Встановлено, що впродовж чотирьох вегетаційних періодів річні апікальні прирости інтенсивно збільшувалися під світлопроникним наметом модринового деревостану та були пригніченими під наметом ялицевого деревостану. Підріст ялиці у модриновому деревостані характеризувався вищими показниками фотосинтезу порівняно з тим, що ріс в ялицевому деревостані. Хвоя підросту ялиці в модриновому деревостані виявилась товстішою і містила більше хлорофілу, каротиноїдів та азоту, ніж хвоя підросту в ялицевому деревостані. Отримані нами закономірності щодо морфометричних показників

хвої підросту ялиці білої та біосинтезу пластидних пігментів є близькими до встановлених польськими дослідниками.

Для вивчення інтенсивності проходження процесів життєдіяльності деревних рослин ми часто використовуємо електрофізіологічні показники, які комплексно характеризують фізіологічний стан рослинних організмів та їхню реакцію на вплив чинників довкілля (Заїка та ін., 2021; Керімов, Заїка, 2018). Результати досліджень підтвердили, що підріст ялиці під наметом материнського деревостану переважно перебуває у пригніченому депресивному стані, а відмінності між дослідними варіантами і контролем за діелектричними показниками є істотними. Отримані нами результати електрофізіологічного дослідження інтегрально відображають реакцію окремих морфологічних і фізіологічних процесів підросту ялиці білої на умови середовища, які склалися під наметом материнського деревостану.

Висновки (Conclusions).

1. В умовах вологої буково-смерекової суялични 90-110-річні деревостани після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки переважно ростуть за II-I класами бонітету. У складі деревостанів частка ялиці білої становить 7-10 од., густина – 236-398 шт./га, запас деревини – 239-391 м³·га⁻¹, абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹. У 105-річному деревостані (контроль) густина становить 788 шт./га, абсолютна повнота – 52,3 м²·га⁻¹ і запас стовбурової деревини – 667 м³·га⁻¹.

2. У деревостанах після першого прийому рівномірно-поступової рубки кількість підросту деревних видів становить 15,49-17,00 тис. шт./га з перевагою у складі ялиці білої (42,4-86,8%). Частка ялини у складі підросту становить 13,2-34,3, бука – 2,9-22,6%. У складі молодого покоління лісу найменше представлений самосів (2,7-25,5%), а за висотою переважає середній (28,5-61,8%) і дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів. На контрольній ділянці кількість підросту деревних видів становила 9,30 тис. шт./га з часткою ялиці в 94,4% і траплянням 35,8%.

3. Встановлено суттєве зменшення відносно контролю морфометричних показників хвої підросту ялиці: довжини – на 22,0-45,3, товщини – на 20,0-62,2, ширини – на 1,4-15,7, площі поперечного перерізу – на 18,2-45,3, площі поверхні – на 32,7-54,8%. Кількість рядів продихів на 1 мм у хвої підросту ялиці під наметом деревостанів істотно (на 7,5-32,8%) перевищує контроль. Густина продихів у хвої дослідних варіантів становить 68,3-91,8 шт./мм² і на переважній кількості площадок є істотно (на 14,3-34,2%) вищою від контролю.

4. Вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці в 105-річному деревостані змінюється в межах 2,644-5,297, а жовтих – 0,259-0,974 мг/г абс. сух. маси та перевищує контроль за вмістом хлорофілів на 48,9-198,2%, а каротино-

їдів – на 16,7-168,9%. У 2-річній хвої сумарний вміст хлорофілів змінюється від 3,664 до 6,384, каротиноїдів – від 0,410 до 1,099 мг/г абс. сух. маси. За показниками вмісту пластидних пігментів у дворічній хвої відмінності з контролем виявилися значно меншими, ніж в однорічній. За вмістом зелених пігментів підріст ялиці під наметом деревостану перевищує контроль на 14,6-51,3% лише на площах 2-4, 6, 7, 10-12, а на інших – відстає від контролю на 1,3-13,1%. Вміст каротиноїдів на одних площах (2-5, 7, 10-12) виявився вищим від контролю на 8,1-26,2%, а на інших (1, 6, 8, 9) – меншим на 36,8-54,6%.

5. За діелектричними показниками підріст ялиці під наметом деревостану істотно ($t_{\phi} = 3,72-23,50$ при $t_{05} = 2,10$) відрізняється від контролю, його процеси життєдіяльності перебувають у депресивному стані.

6. Найбільшою залежністю від інтенсивності освітлення в інтервалі його пропускання під намет деревостанів 0,4-7,2% характеризуються пластидні пігменти. Із зменшенням інтенсивності освітлення їхня кількість пропорційно зростає. Коефіцієнт кореляції між показниками освітленості і вмістом зелених пігментів в 1-річній хвої виявився зворотним і помірним та значним ($r = -0,465 - -0,580$), а з вмістом жовтих пігментів – зворотним і високим ($r = -0,797$). Високий зворотний кореляційний зв'язок ($r = -0,713$) спостережено між інтенсивністю освітлення і показниками відношення хлорофілів a/b та високим прямим ($r = 0,830$) – з показниками відношення суми хлорофілів до каротиноїдів. Подібні закономірності в біосинтезі пластидних пігментів встановлено і для 2-річної хвої. Формування морфометричних показників хвої меншою мірою корелює з інтенсивністю освітлення.

7. У різновікових ялицевих деревостанах доцільно поєднувати проведення добровільно-вибіркового і групово-поступового рубок. За їхнього застосування насамперед зрубують найбільші дерева, які досягли віку технічної стиглості. За наявності підросту з куртинним розміщенням покращуються умови для його росту, насінного поновлення деревних видів та стимулювання росту дерев нижчих ступенів товщини.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Ambs, D., Schmied, G., Zlatanov, T., Kienlein, S., Pretzsch, H. & Nikolova, P., S. (2024). Regeneration dynamics in mixed mountain forests at their natural geographical distribution range in the Western Rhodopes. *Forest Ecology and Management*, 552(15), 121550. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121550>
- Bottalico, F., Travaglini, D., Fiorentini, S., Lisa, C. & Nocentini, S. (2014). Stand dynamics and natural regeneration in silver fir (*Abies alba* Mill.) plantations after traditional rotation age. *I Forest – Biogeosciences and Forestry*, 7(5), 313-323. <https://doi.org/10.3832/for0985-007>
- Brodovych, R.I., Gudyma, V.M., Brodovych, Yu.R., & Katsuliak, Yu.D. (2013). Natural restoration of the main forest-forming species of the Carpathian region and ways of its intensification. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(5), 162-168. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/162_Bro.pdf [Бродович, Р.І., Гудима, В.М., Бродович, Ю.Р., Кацуляк, Ю.Д. (2013). Природне відновлення головних лісоутворювальних порід Карпатського регіону та шляхи його інтенсифікації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(5), 162-168] (in Ukrainian)
- Brodovych, R.I., Porada, T.M.; & Ravlyuk, I.P. (2003). Up-to-date status and scientifically grounded strategy of silver fir forests reproduction in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 13(3), 199-206. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/199_Brodowycz_13_3.pdf [Бродович, Р.І., Порада, Т.М., Равлюк, І.П. (2003). Сучасний стан та науково-обґрунтована стратегія відтворення ялицевих лісів Українських Карпат. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 13(3), 199-206] (in Ukrainian)
- Chernyavskyy, M., Telish, P. & Kolyadzhyn, I. (2013). Optimization of the structure of mixed fir forests of the basin of the Sivka and Chechva rivers within the Precarpathians on the basis of close to natural forestry. *Bulletin of Lviv University. Geograph. Series*, 45, 331-347. Retrieved from <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1187> [Чернявський, М., Теліш, П., Коляджин, І. (2014). Оптимізація структури мішаних ялицевих лісів басейну річок Сівка і Чечва у межах Передкарпаття на засадах наближеного до природного лісівництва. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр.*, 45, 331-347] (in Ukrainian)
- Forest inventory sample plots. Establishing method (2006). Corporate standard 02.02-37-476:2006. [Valid from May 1, 2007], Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України] (in Ukrainian)
- Gerushinsky, Z. Yu., Krynytsky, G. T., Gout, R. T. & Bozhok, A. A (1983). *Geographical crops of Scots pine in Lviv Rostochya: practical recommendations*. Lviv: Lviv Forestry Institute. [Герушинский, З.Ю., Криницький, Г.Т., Гут, Р.Т., Божок, А.А. (1983). *Географические культуры сосны обыкновенной на Львовском Росточье: практические рекомендации*. Львов: ЛЛТИ. 47 с.] (in Russian)
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of the Forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Piramida. [Ге-

- рушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда] (in Ukrainian)
- Golubets, M.A. (1988). *Fir forests* (Abieta formation). In book: *Ukrainian Carpathians. Nature*. Kyiv: Scientific thought [Голубець, М. А. (1988). *Лісові ліси* (формація Abieta). В кн.: *Українські Карпати. Природа*. Київ: Наукова думка] (in Russian)
- Grom, M. M. (2005). *Forest taxation*. Lviv: Ukrainian State Forestry University [Гром, М. М. (2005). *Лісова таксація*. Львів: УкрДЛТУ. 224 с.] (in Ukrainian)
- Horoshko, M. P., Miklush, S. I., & Khomiuk, P. G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula [Горошко, М. П., Миклуш, С. І., Хоміук, П. Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула. 234 с.] (in Ukrainian)
- Hrynyk, H. H. (2011). Forestry and assessment characteristics of silver-fir forests stands in Ukrainian Carpathians account relief features. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 17-28. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/17_Hry.pdf [Гриник, Г. Г. (2011). Лісівничо-таксаційна характеристика ялицевих деревостанів Українських Карпат з урахуванням особливостей рельєфу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(13), 17-28] (in Ukrainian)
- Kazakov, Ye. O. (2000). *Methodological foundations for setting up experiments in plant physiology*. Kyiv: Phytosociocenter. ISBN 966-7459-60-8. [Казаків, Є. О. (2000). *Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин*. Київ: Фітосоціоцентр. 272 с.] (in Ukrainian)
- Kerimov, E. I. & Zaika, V. K. (2018). Dielectric properties of tree species in stands containing european larch. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(8), 23-27. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2018/28_8/6.pdf [Керімов, Е. І., Заїка, В. К. (2018). Діелектричні показники деревних видів у деревостанах за участю модрина європейської. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(8), 23-27] (in Ukrainian)
- Kolisnyk, B., Wellstein, C., Czacharowski, M., Drozdowski, S. & Bielak, K. (2024). Contrasting Regeneration Patterns in *Abies alba*-Dominated Stands: Insights from Structurally Diverse Mountain Forests across Europe. *Forests*, 15(7), 1182. <https://doi.org/10.3390/f15071182>
- Kolyadzhyn, I. F. (1999). *Forestry and ecological foundations of the fir stands formation in the Precarpathians*. Abstract doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0414U001421> [Коляджин, І. Ф. (2014). *Лісівничо-екологічні основи формування ялицевих деревостанів Передкарпаття*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Kolyadzhyn, I. F. (2011). The features of reconstruction cuttings in the mixed silver firs plantations on the watersheds of Svicha and Limnytsja rivers. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 1(16), 355-358. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/355_Kol.pdf [Коляджин, І. Ф. (2011). Особливості рубок реконструкції мішаних ялицевих культур басейну річок Свіча і Лімниця. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 355-358] (in Ukrainian)
- Kolyadzhyn, I. F. (2013). Dynamics of natural regeneration on clear cutting areas in Precarpathians beech-spruce-fir forests. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(11), 19-24. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_11/19_Kol.pdf [Коляджин, І. Ф. (2013). Динаміка природного поновлення на зрубках у буково-ялицево-ялинових лісах Передкарпаття. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(11), 19-24] (in Ukrainian)
- Krynitsky, H. T. (1992). On the methodology for using electrophysiological indicators to determine the viability of woody plants. *Forestry, Forest, Paper and woodworking Industry*, 23, 3-10. [Криницький, Г. Т. (1992). Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 23, 3-10] (in Ukrainian)
- Li, X. N.; Wang, Y. H.; Yang, Z. H.; Liu, T. & Mu, C. C. (2022). Photosynthesis adaption in Korean pine to gap size and position within *Populus davidiana* forests in Xiaoxing'anling, China. *Journal of Forestry Research*, 33, 1517-1527. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-021-01439-0>
- Losyuk, V., Pohribnyi, O., Tomych, M., Chasovsky, O. & Vandzhurak, P. (2022). The condition and structure of fir forests of the Pokuttia Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 79-90. <https://doi.org/10.15421/412207> [Лосюк, В. П., Погрібний, О. О., Томич, М. В., Часковський, О. Г., Ванджурак, П. І. (2022). Стан і структура ялицевих лісів Покутських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 79-90] (in Ukrainian)
- Oliynyk, R. R. & Kolyadzhyn, I. F. (1999). The principal questions of the perfection of the silviculture in the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 9(10), 158-162. ISEN 5-7763-2435-1 [Олійник, Р. Р., Коляджин, І. Ф. (1999). Принципові питання вдосконалення лісовідновлення в Карпатах. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 9(10), 158-162] (in Ukrainian)
- Orman, O., Wrzesiński, P., Dobrowolska, D. & Szewczyk, J. (2021). Regeneration growth and crown architecture of European beech and silver fir depend on gap characteristics and light gradient in the mixed montane old-growth stands. *Forest Ecology and Management*, 482, 118866. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118866>
- Robakowski, P., Wyka, T., Samardakiewicz, S. & Kierzkowski, D. (2004). Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecology*

- and Management, 201(2-3), 211-227. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.029>
- Shvidenko, A. I. (1980). *Fir forests of Ukraine*. Lviv: High school [Швиденко, А. И. (1980). *Пихтовые леса Украины*. Львов: Вища школа. 342 с.] (in Russian)
- Terelya, I. P. (2004). *Silver fir (Abies alba Mill.) in the forests of the Ukrainian Carpathians: condition, reproduction and economic use*. Abstract doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe [Тереля, І. П. (2004). *Ялиця біла (Abies alba Mill.) у лісах Українських Карпат: стан, відтворення та господарське використання*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Tkach, V. P., Luk'yanets, V. A. & Rummyantsev, M. G. (2014). Advance regeneration of tree species in fresh maple-lime oak forest of the leftbank forest-steppe. *Forestry and Agroforestry*, 124, 47-54. Retrieved from <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000395511> [Ткач, В. П., Лук'янець, В. А., Румянцев, М. Г. (2014). Попереднє поновлення деревних порід в умовах свіжої кленово-липової діброви лівобережного Лісостепу. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 124, 47-54] (in Ukrainian)
- Ugarković, D., Jazbec, A., Seletković, I., Tikvić, I., Paulić, V., Ognjenović, M., Marušić, M. & Potočić, N. (2021). Silver Fir Decline in Pure and Mixed Stands at Western Edge of Spread in Croatian Dinarides Depends on Some Stand Structure and Climate Factors. *Sustainability*, 13(11), 6060. <https://doi.org/10.3390/su13116060>
- Vandzhurak, P. I. (2024). Age structure of the undergrowth of *Abies alba* Mill. under the canopy of stands with different methods of felling. In *Close-to-nature forestry: problems and prospects: abstracts of reports of the International Scientific-Practical Conference*, 36-37. Kyiv, April 25-26. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/tezy_april_25_kyiv_nubip_1.pdf [Ванджурак, П. І. (2024). Вікова структура підросту *Abies alba* Mill. під наметом деревостанів за різних способів рубок. *Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи*: тези доповідей Міжнарод. наук.-практ. конф., Київ, 25-26 квітня 2024 р. Київ: НУБіП України, 36-37] (in Ukrainian)
- Vandzhurak, P. I., Debrynyuk, Iu. M., & Savchyn, V. M. (2023). Forests of the Pokutsky Carpathians: distribution and silvicultural and taxonomic characteristics. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 39-55. <https://doi.org/10.15421/412303> [Ванджурак, П. І., Дебрінюк, Ю. М., Савчин, В. М. (2023). Лісостани Покутських Карпат: поширення та лісівничо-таксаційна характеристика. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 39-55] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R. D. (2013). Growth dynamic of normal fir stands of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(6), 87-92. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_6/18.pdf [Василишин, Р. Д. (2013). Хід росту повних ялицевих деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(6), 87-92] (in Ukrainian)
- Vishnevsky, A. V. (2015). The Undergrowth Spacing Structure under the Canopy of Mature Pine Trees under Rivnenske Polissya Pine Wood Conditions. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(1), 44-48. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_1/9.pdf [Вишневський, А. В. (2015). Просторова структура підросту під наметом стиглих соснових деревостанів у борових умовах Рівненського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(1), 44-48] (in Ukrainian)
- Wenkai Li, Bei Li, Xiao Ma, Sudipta Saha, Haibo Wu, Peng Zhang & Hailong Shen (2023). Physiological and Biochemical Traits of Needles Imply That Understory Light Conditions in the Growing Season May Be Favorable to *Pinus koraiensis* Trees. *Forests*, 14(7), 1333. <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/7/1333>
- Zaika, V. K., & Derekh, O. I. (2014). The Plastid Pigments Content in Beech and Oak Undergrowth on Area with Different Stages of Digression of Lviv Green Zone. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(3), 9-17. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_3/9_Zaj.pdf [Заїка, В. К., Дерех, О. І. (2014). Вміст пластидних пігментів у підростах бука і дуба на ділянках різних стадій дигресій зеленої зони Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(3), 9-17] (in Ukrainian)
- Zaika, V. K., Kalenyuk, Y. S., Krynytsky, G. T., Matusyak, M. V., & Prokopchuk, V. M. (2021). *Silvicultural and ecological role of small-leaved lime in hornbeam-oak forests of Western Podillya*. Vinnytsia: Works. ISBN 978-617-552-085-7 [Заїка, В. К., Каленюк, Ю. С., Криницький, Г. Т., Матусяк, М. В., Прокопчук, В. М. (2021). *Лісівничо-екологічна роль липи серцелистої в грабових дібровах Західного Поділля*. Вінниця: Твори. 192 с.] (in Ukrainian)
- Zhu, J., Wang, K., Sun, Y. & Yan, Q. (2014). Response of *Pinus koraiensis* seedling growth to different light conditions based on the assessment of photosynthesis in current and one-year-old needles. *Journal of Forestry Research*, 25, 53-62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-014-0432-7>

Morphophysiological features of silver fir young growth formation under conditions of moist fairly fertile spruce-beech-fir forest type

B. Milinevych¹, V. Zaika², V. Kovaleva³,
Y. Yusypovych⁴, M. Pavuk⁵, V. Tusjak⁶

Forest regeneration processes in 90-110-year-old fir stands of the moist fairly fertile spruce-beech-fir forest type and the morphophysiological characteristics of silver fir young growth were studied. It was found that in stands that have been subjected to the first stage of uniform shelterwood cutting, the proportion of fir trees ranges from 7 to 10 units, the timber stock varies between 239 and 391 m³·ha⁻¹, and the total basal area ranges from 18.6 to 29.9 m²·ha⁻¹. In contrast, in the stand without any management intervention, these indicators amount to 52.3 m²·ha⁻¹ and 667 m³·ha⁻¹, respectively. In stands after the first stage of uniform shelterwood cutting, the density of young tree regeneration amounts to 15.49-17.00 thousand individuals per hectare, with the share of fir in this young growth ranging from 42.4% to 86.8%. Self-sown trees are

the least represented in the young growth, accounting for 2.7-25.5%; and in terms of height, medium (28.5-61.8%) and small (29.9-59.6%) young growth of tree species prevail. In the unmanaged fir stand, the young growth density of tree species is 9.30 thousand individuals per hectare, with silver fir making up 94.4% of the total. The average height of fir young growth in the unmanaged stand varies between 21 and 119 cm, with height increment ranging from 1.6 to 9.1 cm, which is significantly lower than in the control area. A considerable reduction in the morphometric characteristics of fir needles in the young growth was observed: needle length decreased by 22.0-45.3%, thickness – by 20.0-62.2%, width – by 1.4-15.7%, cross-sectional area – by 18.2-45.3%, and surface area – by 32.7-54.8%. The content of green pigments in one-year-old needles of fir young growth in a 105-year-old stand varies within 2.644-5.297, and yellow pigments – 0.259-0.974 mg/g abs. dry weight and exceeds the control area for the content of chlorophylls by 48.9-198.2% and carotenoids – by 16.7-168.9%. In 2-year-old needles, the total content of chlorophylls varies from 3.664 to 6.384 and that of carotenoids – from 0.410 to 1.099 mg/g abs. dry weight. In terms of the content of plastid pigments in 2-year-old needles, the differences with the control area were significantly smaller than in 1-year-old needles, which is due to the adaptation of its vital processes. There is a tendency toward a decrease in the chlorophyll *a/b* ratio in the experimental variants of silver fir in one- and two-year-old needles by 1.1-28.5% and an increase in the ratio of green pigments to yellow pigments by 8.4-111.9%. In case of insufficient illumination, the role of chlorophyll *b* in plants increases as a mechanism for adapting to the absorption of visible spectrum energy that enters through the forest canopy to the young growth. According to dielectric parameters, the fir young growth under the canopy of the stand differs significantly ($t_f = 3.72-23.50$ at $t_{05} = 2.10$) from the control area and its vital processes are in a depressed state. In all-aged fir stands, it is advisable to combine selection and group-shelterwood fellings. When using them, the largest trees that have reached technical maturity are to be cut down first. The presence of young growth with a curtain-like arrangement improves conditions for its growth, regeneration of tree species by seed, and stimulation of the growth of trees of lower diameter classes.

Key words: fir stand; young growth; needle morphological characteristics; plastid pigments; dielectric properties; growth; chlorophylls; carotenoids.

¹ *Bohdan Milinevych* – master's degree, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: bohdan.milinevych.21@pnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2516-6260>

² *Volodymyr Zaika* – Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Forestry and Agrarian Management at the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³ *Valentina Kovaleva* – PhD, Senior Researcher. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kovaleva@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-2747>

⁴ *Yurii Yusypovych* – PhD, Head of the Department of Landscaping and Plant Reproduction of the Botanical Garden. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: jojusse@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0013-6699>

⁵ *Mykhailo Pavuk* – postgraduate student, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: mykhailo.pavuk.22@pnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6157-0832>

⁶ *Vasyl Tusjak* – postgraduate student, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: asp.tusjak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4962-8743>