



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412523>
Article received 2025.03.17
Article revised 2025.09.29
Article accepted 2025.10.13
Article published 2026.03.12

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ivanna Kulbanska
kulbanska@nubip.edu.ua
19 General Rodimtsev St.,
Kyiv, 03041, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*2/.5:582.475.7(477.8)

Лісівничо-таксаційні детермінанти формування санітарного стану деревостанів за участю *Abies alba* Mill. у Покутсько-Буковинських Карпатах

І.М. Кульбанська¹, А.Ф. Гойчук², М.І. Сорока³

*Представлено результати комплексного лісівничо-таксаційного дослідження детермінантів формування санітарного стану деревостанів за участю *Abies alba* Mill., розраховано індекс санітарного стану. Оцінено типологічну і вікову структуру лісів за участю *Abies alba*, встановлено їхнє походження (природне чи штучне) та частку деревного виду у складі. Санітарний стан деревостанів характеризується високою просторово-часовою мінливістю і варіює від ослабленого до середнього ступеня деградації, із локальними осередками інтенсивного всихання, які потребують пріоритетного фітосанітарного контролю. Найуразливішими є стиглі та пристиглі насадження штучного походження, а також деревостани, що формуються в умовах вологої смереково-букової суяличини унаслідок специфічного поєднання гідротермічних, біотичних та абіотичних стрес-факторів у такому біотопі. Підвищена участь *Abies alba* у складі деревостану, особливо понад ценотичний оптимум (25–30% від загального видового складу), корелює із зростанням індексу санітарного стану та посиленням*

¹ Кульбанська Іванна Миколаївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, доцент кафедри лісівництва. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родімцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: kulbanska@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3424-8106>

² Гойчук Анатолій Федорович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. генерала Родімцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: ogoychuk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6827-2307>

³ Сорока Мирослава Іванівна – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів, 79057, Україна. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

проявів фізіологічного ослаблення і всихання дерев. Водночас мішані лісостани з оптимальною для ялиці білої екологічною нішею демонструють вищу біотичну стійкість та низький рівень патологічних проявів. Встановлено, що генезис деревостану суттєво впливає на санітарний стан: природні ліси мають нижчий індекс санітарного стану порівняно зі штучними, навіть у тих самих типах лісу. Результати дослідження підтверджують важливе значення лісівничо-таксаційних показників (тип лісу, вікова структура, походження деревостану, видовий склад) для прогнозування темпів розвитку деградаційних процесів у лісостанах за участю *Abies alba* та розроблення ефективної системи заходів із підтримання їхнього належного санітарного стану. Отримані дані мають практичне значення для лісовпорядкування, управління гірськими лісовими екосистемами та підвищення біотичної стійкості деревостанів до впливу негативних біотичних та абіотичних чинників.

Ключові слова: ялиця біла; фітосанітарний моніторинг; лісові екосистеми; вікова структура; генезис; тип лісорослинних умов; індекс санітарного стану.

Вступ (Introduction).

Ялиця біла (*Abies alba* Mill.) посідає одне із провідних місць у лісових екосистемах Українських Карпат, формуючи високопродуктивні та біотично стійкі деревостани. Стійкість ялиці значною мірою залежить від комплексу лісівничо-таксаційних показників, серед яких ключовими є вік, повнота, тип лісу та морфометричні параметри дерев (Лосюк та ін., 2022). Оптимальні структурні характеристики насаджень сприяють підвищенню їхньої резистентності до абіотичних і біотичних стресорів (Дебринюк, 2011; Парпан, 2016).

Питання формування деревостанів за участю ялиці білої на території України досліджували багато науковців у різні періоди. Значний внесок у вивчення біології та лісівничих особливостей *Abies alba* зробили В. К. М'якушко (1971), А. Й. Швиденко (1980), Я. О. Сабан (1990), І. П. Тереля (2000). У подальші роки тематику розвинули у своїх працях численні дослідники (Черневий, 2013; Парпан, Гудима, 2015; Сорока та ін., 2019, 2024; Kulbanska et al., 2022; Plichtiak et al., 2023).

Питання погіршення санітарного стану лісів за участю *Abies alba* активно обговорено у працях європейських і вітчизняних авторів. Результати досліджень свідчать, що на стан ялиці суттєво впливають кліматичні зміни (Швиденко, Букша, Краковська, 2018), зокрема підвищення температури, дефіцит вологи та збільшення частоти екстремальних погодних аномалій (Bosela et al., 2018). Прямий вплив на стан лісів мають антропогенне забруднення повітря та лісогосподарська діяльність (Парпан, Гудима, 2015; Meshkova, Borysenko, & Pryhomyskyi, 2018; Ванджурак, Дебринюк, Савчин, 2022). Сучасний стан лісів Карпатського регіону також залежить від чинників біотичного походження, зокрема інтенсивності розвитку шкідників і збудників хвороб (Cobb, & Metz, 2017; Сорока та ін., 2019, 2024; Kulbanska et al., 2022).

Важливим напрямом є дослідження впливу господарських заходів на життєздатність *Abies*

alba. Рубки різної інтенсивності можуть або покращувати, або погіршувати санітарний стан деревного виду залежно від вихідної структури лісостану і типу лісорослинних умов (Bončina, 2011; Parpan, 2016). Низка дослідників акцентують увагу на тому, що у високоповнотних ялицевих деревостанах збільшується ризик ослаблення дерев через конкуренцію за ресурси середовища, тоді як помірний режим рубок сприяє підвищенню стабільності екосистеми ялицевих лісів і кращому проходженню процесу природного поновлення (Гудима, Парпан, Пліхтяк, 2019; Шпарик, Криницький, Дебринюк, 2020).

На підставі наведених даних можна стверджувати, що сучасний стан і стійкість дерев *Abies alba* є результатом комплексної дії абіотичних, антропогенних та біотичних чинників. Взаємозв'язок між низкою чинників – підвищенням температури, дефіцитом вологи, забрудненням довкілля, інтенсивною лісогосподарською діяльністю, впливом на деревостани шкідників і збудників хвороб формує синергійний ефект, який визначає динаміку погіршення санітарного стану ялиці та зниження її адаптаційних можливостей в умовах зміненого середовища.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, питання комплексного оцінювання взаємозв'язків між санітарним станом *Abies alba* та лісівничо-таксаційними характеристиками лісостанів за її участю у Покутсько-Буковинських Карпатах залишаються недостатньо з'ясованими. Більшість робіт зосереджені або на загальних тенденціях ослаблення ялиці, або на оцінюванні стійкості деревостанів до окремих чинників, що визначає актуальність проведення комплексних регіональних досліджень.

Мета дослідження – встановити ключові лісівничо-таксаційні детермінанти, що визначають санітарний стан лісів за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах, а також з'ясувати динамічні тенденції деградаційних і відновних процесів залежно від структури та типологічних особливостей деревостанів.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – закономірності формування санітарного стану деревостанів за участю *Abies alba* залежно від їхніх основних лісівничо-таксаційних характеристик у Покутсько-Буковинських Карпатах. *Предмет дослідження* – лісівничо-таксаційні показники (тип лісорослинних умов, вікова структура, генезис деревостану, частка ялиці у складі деревостану) та санітарний стан деревостанів.

Дослідження стану лісів за участю ялиці білої проводили впродовж 2021-2023 рр. у Покутсько-Буковинських Карпатах, які розташовані у зовнішній смузі північного мегасхилу Українських Карпат у межах Івано-Франківської та Чернівецької областей. Близько третини території регіону віднесено до природно-заповідного фонду (Гостюк, Мельник, 2017). За геоботанічним районуванням, регіон знаходиться у межах району Покутсько-Буковинських смереково-ялицево-букових і смереково-буково-ялицевих лісів, підокругу темнохвойно-букових привододільних лісів, округу букових лісів Українських Карпат (Голубець, 2003). Клімат регіону помірно-континентальний, вологий. Середньорічна температура становить приблизно +6°C, середня кількість опадів у низинній частині округу сягає 800 мм, у гірській – до 1500 мм (Літопис природи..., 2015). Лісогосподарська регіоналізація Покутських Карпат прийнята за П. І. Ванджураком і Ю. М. Дебринюком (2022). Лісівничо-таксаційна характеристика

пробних площ (ПП) наведена згідно таксаційних описів підприємств, наданих ВО «Укр-держліспроект» (<https://nfi.lisproekt.gov.ua/>).

У дослідженні використано дані, що охоплюють виключно деревостани за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах, віковий діапазон яких становить від 20 до 119 років. Обстежені деревостани були як чистими, так і мішаними за видовим складом і сформованими у різних лісорослинних умовах, зокрема в сухих, свіжих та вологих гігродіапах. Аналіз ключових лісівничо-таксаційних детермінантів, які безпосередньо впливають на деградаційні та відновні процеси в лісах, здійснено на основі результатів рекогносцирувальних і детальних лісопатологічних обстежень на 230 тимчасових та 15 постійних пробних площах. У лісових масивах закладали також лісопатологічні маршрути, які охоплювали деревостани з різними лісівничо-таксаційними показниками. Категорію санітарного стану дерев визначали згідно з чинними вимогами (Санітарні правила..., 1995). За результатами обліків розраховували середню категорію (індекс) санітарного стану деревостану. Оцінювання сучасного стану ценозів здійснювали з використанням середньозваженого індексу санітарного стану деревостану (Іс). Динаміку санітарного стану вивчали на 15 дослідних ділянках, у межах яких проводили фітосанітарний моніторинг (табл. 1.).

Зазначений підхід дав змогу сформувати комплексне уявлення про сучасний санітарний стан лісів за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах.

Таблиця 1. Характеристика дослідних ділянок у лісах Покутсько-Буковинських Карпат (дані 2023 року)

Table 1. Characteristics of the study plots in the forests of the Pokuttia–Bukovyna Carpathians (2023 data)

№ ПП	Місцерозташування (лісництво / ПНДВ, квартал / виділ)	Склад деревостану	Вік, років	Висота, м / діаметр, см	Індекс типу лісу
1	Березівське, 2/13	7Яц62Ялє1Бкл	90	27/32	С ₃ -см-бкЯц
2	Березівське, 3/22	6Ялє4Яцб	50	20/26	Д ₃ -см-бкЯц
3	Кутське, 23/13	9Яцб1Ялє+Бкл	93	28/40	С ₂ -яцБк
4	Кутське, 30/23	7Яцб3Бкл	118	27/50	С ₃ -бкСм
5	Косівське, 23/13	9Яцб1Ялє+Бкл	93	28/40	С ₂ -яцБк
6	Вашківське, 9/17	9Яцб1Бкл	90	27/40	Д ₃ -см-бкЯц
7	Берегометське, 11/46	5Яцб4Ялє1Бкл+Гз	58	23/30	С ₃ -см-бкЯц
8	Берегометське, 11/36	9Яцб1Ялє+Бкл	67	27/32	С ₃ -яцБк
9	Шешорське, 4/10	6Яцб2Ялє1Бкл1Бп	43	17/18	С ₂ -яцДз
10	Шешорське, 11/16	9Яцб1Ялє	85	27/44	С ₃ -Бк
11	Косівське, 10/29	8Яцб1Ялє1Бкл	100	29/44	Д ₃ -яцБк
12	Пістинське, 6/25	10Яцб	80	24/32	С ₃ -бк-яцСм
13	Яворівське, 13/4	7Яцб3Ялє	60	24/28	С ₃ -см-бкЯц
14	Роженське, 17/14	5Яцб3Ялє2Бкл	75	22/32	С ₃ -см-бкЯц
15	Роженське, 20/29	9Яцб1Ялє	85	24/36	С ₃ -см-бкЯц

Результати (Results).

За результатами комплексного фітосанітарного моніторингу лісових екосистем Покутсько-Буковинських Карпат, проведеного з метою інтегрального оцінювання санітарного стану лісів за участю *Abies alba* та діагностики інфекційної етіології патологічних проявів, встановлено домінування ознак фізіологічного ослаблення дослідних деревостанів. Отримані результати свідчать про віднесення цих лісів за рівнем деградаційних змін біотичного генезу до категорії середньопошкоджених / середньоуражених. Важливо зауважити, що частина дерев навіть за умов прогресуючого пригнічення не демонструє чітко виражених візуальних симптомів ураження, що підтверджує наявність латентних патологічних процесів та ускладнює оперативність і точність фітосанітарної діагностики (табл. 2).

Аналіз динаміки середніх значень індексу санітарного стану (I_{c1-6}) у лісах Покутсько-Буковинських Карпат впродовж 2021–2023 рр. засвідчує виражену просторово-часову неоднорідність фітосанітарного стану деревостанів за участю *Abies alba*. Значення індексу варіюють у широкому діапазоні – від 1,39 до 3,55, що свідчить про співіснування як відносно стійких, так і помітно деградованих ценозів у межах одного регіону. До групи найбільш ослаблених віднесено деревостани на пробних площах 6, 12, 13 і 14, де рівень деградації залишається стабільно високим, що може бути зумовлено сукупністю локальних стресорів (орографія, гідрологічні умови, підвищений біотичний прес). Натомість на пробних площах 2, 4, 5 і 7 зафіксовано найнижчі значення індексу, що характеризує ці деревостани як слабо пошкоджені та потенційно стійкіші до несприятливих чинників.

Таблиця 2. Середні значення індексу санітарного стану (I_c) на пробних площах у лісах Покутсько-Буковинських Карпат у 2021–2023 рр.

Table 2. Average values of the sanitary condition index (I_s) in the sample plots in the forests of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians in 2021–2023

№ ПП	$I_{c1-6} \pm$ довірчий інтервал*		
	2021	2022	2023
1	2,05 $\pm$ 0,22	2,23 $\pm$ 0,21	2,34 $\pm$ 0,21
2	1,39 $\pm$ 0,14	1,57 $\pm$ 0,14	1,67 $\pm$ 0,15
3	2,51 $\pm$ 0,19	2,51 $\pm$ 0,18	2,21 $\pm$ 0,17
4	1,54 $\pm$ 0,16	1,56 $\pm$ 0,14	1,77 $\pm$ 0,15
5	1,74 $\pm$ 0,18	1,88 $\pm$ 0,18	1,89 $\pm$ 0,18
6	3,51 $\pm$ 0,17	3,27 $\pm$ 0,18	3,17 $\pm$ 0,19
7	1,60 $\pm$ 0,15	1,53 $\pm$ 0,14	1,55 $\pm$ 0,14
8	2,48 $\pm$ 0,17	2,56 $\pm$ 0,16	2,69 $\pm$ 0,15
9	2,91 $\pm$ 0,16	2,99 $\pm$ 0,16	3,01 $\pm$ 0,16
10	2,66 $\pm$ 0,18	2,59 $\pm$ 0,17	2,67 $\pm$ 0,17
11	2,75 $\pm$ 0,15	2,71 $\pm$ 0,17	2,69 $\pm$ 0,17
12	3,12 $\pm$ 0,16	2,81 $\pm$ 0,18	2,67 $\pm$ 0,17
13	3,34 $\pm$ 0,16	3,52 $\pm$ 0,16	3,51 $\pm$ 0,16
14	3,55 $\pm$ 0,15	3,17 $\pm$ 0,17	3,15 $\pm$ 0,16
15	2,41 $\pm$ 0,17	2,61 $\pm$ 0,18	2,53 $\pm$ 0,18

Примітка: * Індекс санітарного стану (I_{c1-6}) враховує фізіологічний стан усіх живих і відмерлих деревних рослин

У часовому аспекті виявлено загальну тенденцію до зростання I_{c1-6} на більшості пробних площ, що відображає поступове наростання стресового впливу та інтенсифікацію деградаційних процесів у деревостанах упродовж трирічного періоду. Зокрема, найпомітніше погіршення фітосанітарного стану відмічено на пробних площах 1 і 4, тоді як на ПП 8, 9 і 10 індекс зростає помірно, демонструючи повільний, але стабільний розвиток патологічних змін. Водночас на окремих площах (зокрема ПП 6, 12 і 14) у 2023 р. спостережено певне зниження або й стабілізація значень індексу порівняно

з 2021 р., що може свідчити про циклічний характер відповідних фізіологічних реакцій ялиці білої, а також ймовірний вплив природних регенераційних процесів або лісівничих заходів.

Довірчі інтервали, що не перевищують $\pm 0,14$ – $0,22$, підтверджують статистичну надійність отриманих значень і дають підставу вважати просторові відмінності між пробними площами, а також частину міжрічних відмінностей – істотними. Як узагальнення можна констатувати, що санітарний стан лісів за участю *Abies alba* у регіоні загалом відповідає рівням від ослабленого до

середньоураженого, при цьому наявність локальних осередків інтенсивної деградації визначає потребу у пріоритетному фітосанітарному контролі. Отримані результати також вказують на латентність проявів патологічних процесів, коли фізіологічне пригнічення дерев не завжди супроводжується чіткими морфологічними симптомами, що ускладнює своєчасність діагностики та підвищує значення систематичного моніторингу.

Ослаблення та відмирання деревостанів за участю ялиці білої у Покутсько-Буковинських Карпатах на сучасному етапі охоплює, переважно, ліси старших вікових груп, насамперед пристиглі і стиглі. Патологічні процеси мають локалізований, проте прогресуючий характер. На ранніх стадіях деградаційних змін відбувається поодинокі відмирання дерев, яке з часом призводить до формування осередків із вираженим фізіологічним пригніченням деревостану. На подальшому етапі простежується куртинне всихання, що виявляється закономірною передумовою для розвитку загального процесу дигресії та структурного руйнування лісостанів.

За результатами детального обстеження пробних площ встановлено, що ослаблення і всихання окремих дерев та їхніх груп у межах виділених деревостанів зумовлене комплексною дією біотичних та абіотичних стрес-факторів, серед яких домінують збудники інфекційних хвороб, пошкодження стовбуровими шкідниками та наслідки стихійних явищ. Загальна інтенсивність ураження характеризується як слабка або середня, а характер поширення патологічного процесу варіює від дифузного до куртинного. На більшості пробних площ виявлено типові ознаки інфікування *Abies alba* збудниками бактеріальної водянки та виразково-пухлиноподібної хвороби, що підтверджує їхню значущу роль у розвитку деградаційних явищ. В окремих випадках (дерева III категорії санітарного стану) діагностовано заселення стовбурів камбіофагами, що додатково підсилює процес пошкодження провідних тканин та порушення водного режиму.

У процесі дослідження зафіксовано значну кількість дерев із механічними пошкодженнями різного походження: вітровальними та буреломними стовбурами, порушенням цілісності кореневої системи, ушкодженням кореневих лап і стовбурів, зламаними верхівками, а також характерними морозобійними тріщинами, що свідчить про суттєвий вплив аномальних температурних показників на життєздатність дерев. Сукупність виявлених проявів деградації підтверджує, що фітосанітарний стан деревостанів у досліджуваному регіоні формується як результат тривалої і багатofакторної взаємодії біотичних та абіотичних чинників із вираженою тенденцією до прогресування.

Відомо, що мішані за складом і складні за структурою деревостани повніше використовують ресурси біотопу, характеризуються високою продуктивністю і формують підвищену групову резистентність до негативного впливу чинників навколишнього середовища, зокрема біотичного походження (наприклад, збудників хвороб). Багатоярусні лісостани, порівняно з одноярусними, поглинають більше енергії Сонця і також є продуктивнішими, особливо, якщо до їхнього складу входять деревні види із різним типом кореневої системи, формуючи ефективну підземну ярусність. Деревні види, які мають глибинну стрижневу кореневу систему (наприклад, *Abies alba*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*), у поєднанні з неглибокою поверхневою кореневою системою інших видів (наприклад, *Acer platanoides*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Fraxinus excelsior*) краще використовують запаси ґрунтової вологи і поживних речовин, у зв'язку з чим такі деревостани є біотично стійкішими (Криницький та ін., 2023). Такі ліси активніше переводять дощові і талі води в ґрунті, а також ефективно захищають ґрунт від водної ерозії. У мішаних за складом деревостанах ґрунти щільніше заселені безхребетними тваринами, зокрема представниками роду *Lumbricus*, а їхня життєдіяльність сприяє підвищенню вмісту поживних речовин у ґрунтах. Водночас мішані деревостани є значно стійкішими до дії вітровалів, буреломів, сніговалів, пожеж, фітофагів тощо.

Поширення патологічних процесів у лісах різних типів лісорослинних умов. Аналізуючи розподіл площ лісів Покутсько-Буковинських Карпат за типами лісорослинних умов встановлено, що субори (В) займають площу 1013,5 га (5,9%), при цьому частка свіжих суборів не перевищує 0,3%, а вологих – 5,6%. Сумарна площа сугрудів (С) становить 14975,6 га (85,7%), при цьому частка свіжих сугрудів складає 1,8% (320,9 га), вологих – 81,6% (14268,6 га), сирих – 2,3% (386,1 га). Груді (D) займають площу 1482,8 га (8,4%), при цьому частка свіжих і сирих грудів сумарно не перевищує 0,01%, частка вологих – 8,3%. Наведена інформація ґрунтується на детальному аналізі матеріалів 230 тимчасових пробних площ, які охоплюють виключно деревостани за участю ялиці білої.

Аналізуючи розподіл площ лісів Покутсько-Буковинських Карпат за типами лісу, виокремлено 41 тип лісу, в межах яких формуються деревостани за участю *Abies alba*. Для зручності аналізу їх поділено на три групи: I (площа лісів за участю ялиці перевищує 25,0% від загальної площі лісів), II (площа таких лісів складає 1,0-24,9% від загальної площі лісів), III (площа лісів за участю ялиці не перевищує 1,0% від загальної площі лісів). До I групи віднесено два типи лісу – вологу високогірну сусмєречину (С₃-

См) та вологу буково-ялицеву сусмеречину (С₃-бк-яцСм), сумарна площа яких перевищує 50,0% від загальної площі (що складає 9643,8 га або 56,6%). До II групи віднесено 12 типів лісу, сумарна площа яких не перевищує 40,0%, становить 6497,7 га або 38,1% і представлена такими індексами: В₃-Ялс, С₂-бк-яцСм, С₃-см-бкЯц, С₃-бкСм, С₃-бк-яцСм, С₃-яцБк, С₃-см-яцБк, С₄-Вх(с), Д₃-см-бкЯц, Д₃-см-яцБк, Д₃-яцБк, Д₃-бкЯц. До III групи належать 27 типів лісу, які трапляються фрагментарно, проте дають можливість сформувати розуміння особливостей лісорослинних умов, що склалися у лісах Покутсько-Буковинських Карпат. Сумарна площа типів лісу III групи складає 869,5 га або 5,3% від загальної площі.

Аналіз дослідних ділянок також дав змогу здійснити розподіл площ деревостанів за участю

Abies alba за типами лісу. Виокремлено сімнадцять типів лісу, які так чи інакше пов'язані із переважанням ялиці білої у складі деревостану: волога смереково-букова суяличина, волога буково-ялицева сусмеречина, волога букова яличина, волога ялицева сусмеречина суяличина та ін. Практично поодинокі траплялися менші типи для формування деревостанів із переважанням *Abies alba* типи лісу: волога дубово-букова суяличина, волога високогірна сусмеречина, волога буково-ялицева смеречина, волога ялицева бучина та сира сусіровільшина.

Дослідженнями встановлена залежність показників санітарного стану лісів Покутсько-Буковинських Карпат від типу лісорослинних умов (табл. 3).

Таблиця 3. Санітарний стан деревостанів із переважанням *Abies alba* у різних типах лісу
Table 3. Sanitary condition of forest stands dominated by *Abies alba* in different forest types

Тип лісу	Частка від загальної площі, %	Середньозважений індекс санітарного стану	Ступінь пошкодження деревостану
Волога буково-смерекова суяличина	46,5	3,38	середній
Волога буково-ялицева сусмеречина	17,0	1,90	слабкий
Волога букова яличина	8,5	1,30	відсутній
Волога ялицева сусмеречина	6,0	1,78	слабкий
Волога смереково-букова суяличина	6,0	1,12	відсутній

З.Ю. Герушинський (1996) виділяв тип лісу *волога смереково-букова суяличина (яличина)*. За нашими дослідженнями, за різної участі *Picea abies* у складі деревостану типу лісу спостережено суттєві відмінності індексу санітарного стану *Abies alba*. Щоб акцентувати увагу на цьому важливому аспекті, деревостани, де участь ялини в складі становила 4 од. і більше, було віднесено до *вологої буково-смерекової суяличини*, а за меншої участі ялини у складі – до *вологої смереково-букової суяличини*. Ці типологічні одиниці у природі добре відокремлюються за типом, морфологічними і фізико-хімічними характеристиками ґрунту, видовим складом і структурою трав'яного ярусу та просторовим розміщенням у системі гірських хребтів. Також у європейських класифікаціях, які опираються на еколого-біологічні характеристики лісових ценозів, такі ліси чітко відокремлюються між собою (Matuszkiewicz, 2022).

Співставляючи дані санітарного стану деревостанів з типами лісу встановлено, що найбільш ослабленими (середньозважений індекс санітарного стану на основі аналізу дослідних ділянок становить 3,38) є ялицеві деревостани, які формуються в умовах вологої буково-смерекової суяличини. Особлива фітосанітарна вразливість деревостанів у цьому типі лісу ймовірно пов'язана з

гідротермічним режимом, конкурентними взаємовідносинами із *Picea abies* та чинниками біотичного походження.

Натомість у смерековому типі лісу, де *Abies alba* не є переважаючим деревним видом у складі деревостану, спостережено суттєво нижчий рівень деградації. Так, у вологій буково-ялицевій сусмеречині ступінь пошкодження оцінено як слабкий (1,90). В умовах вологої смереково-букової суяличини та вологої букової яличини ослаблення деревостану практично не фіксується (1,12-1,30), що вказує на відсутність виражених патологічних проявів. Така варіабельність індексу санітарного стану ялиці може бути зумовлена більшою чи меншою часткою *Picea abies* у складі деревостану та її впливом на життєвий стан ялиці білої.

Інші типи лісу сукупно представлені на 16,0% площ, характеризуються слабким ступенем ушкодження (2,23), що може бути зумовлено локальними абіотичними або біотичними стресорами, однак при цьому відсутнє формування суцільних деградаційних осередків.

Отже, простежується закономірність – чим ближчі екологічні умови типу лісу до оптимальних для ялиці білої, тим нижчий рівень її ослаблення і деградації. Водночас зростання участі

смереки у складі насаджень корелює з погіршенням санітарного стану та підвищенням ризиків розвитку патологічних процесів, що може бути проявом інтенсивнішої міжвидової конкуренції за ресурси на фоні кліматичних змін та ослаблення стійкості основного деревного виду.

Особливості структурно-функціональної і екологічної організації патогенної біоти у лісах різного видового складу та віку. Видовий склад деревостану є одним із ключових чинників, що визначає його санітарний стан. Розуміння цих зв'язків дасть змогу розробляти ефективні заходи щодо збереження здоров'я лісів і підвищення їхньої стійкості до негативного впливу зовнішніх чинників.

Аналіз видового складу лісостанів за участю ялиці білої Покутсько-Буковинських Карпат показує, що найбільші площі займають ялицеві ліси з часткою 5 од. *Abies alba* у складі. Чверть (25,0%) обстежених нами дослідних ділянок характеризувались саме такою участю деревного виду у складі. Переважаючими за площею є ліси із видовим складом деревостану 5Яцб5Яле, 5Яцб3Яле2Бкл та 5Яцб4Яле1Бкл. Ялицеві ліси з часткою 6 од. ялиці у складі посідають 22,0%. Переважаючими у цій групі є ліси із видовим складом деревостану 6Яцб2Яле2Бкл та 6Яцб4Яле. Лісостани з часткою участі ялиці в 4 од. займають 15,5% від загальної площі дослідних ділянок. Переважаючими є ліси із видовим складом деревостану 4Яцб6Яле, 4Яцб3Яле3Бкл та 4Яцб4Яле2Бкл. Також значні площі (14,5%) займають ліси з часткою ялиці в 7 од. у складі. Переважаючими є ліси зі складом деревостану 7Яцб3Яле, 7Яцб3Бкл та 7Яцб2Бкл1Яле. Значно рідше (до 10,0%) трапляються інші частки участі *Abies alba* у складі. Зокрема, найрідше трапляються ялицеві лісостани з часткою деревного виду в 3 од. (3,5%), 9 од. (5,5%) та 10 од. (5,0%) у складі деревостану.

Варто зауважити, що обстежені чисті ялицеві деревостани мають природне походження, проте

з ознаками вилучення деяких видів дерев, зокрема, смереки і бука, а деревостани за участю ялиці 30% в основному створені штучно. Така відмінність у походженні потенційно може впливати на генетичну різноманітність популяцій, що, своєю чергою, впливає на стійкість лісу до збудників хвороб і шкідників.

Загальний розподіл площ лісів з участю *Abies alba* Покутсько-Буковинських Карпат за категоріями стиглості наступний: молодняки – 1673,4 га (9,8%), середньовікові – 8074,8 га (47,5%), пристиглі – 3520,6 га (20,7%), стиглі – 2984,7 га (17,5%), перестійні – 757,5 га (4,5%). При цьому розподіл вікової структури дослідних лісостанів за участю ялиці загалом рівномірний, серед яких частка молодняків складає 20,5, середньовікових – 12,5, пристиглих – 22,5, стиглих – 21,5 і перестійних – 23,0%. Такий розподіл пов'язаний з тим, що ліси дослідного регіону мають різний статус захищеності. Головним чином, йдеться про обмежену лісгосподарську діяльність у межах природно-заповідних об'єктів різних категорій НПП «Гуцульщина» (заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи). У таких лісах присутні як порушені природні комплекси, так і масиви лісових культур, де доцільно здійснювати екологічно необтяжливе традиційне лісове господарство і діяльність природоохоронно-відтворювального та рекреаційно-освітнього напрямів.

Зі збільшенням частки *Abies alba* в складі деревостану та переходом від молодших до старших категорій стиглості спостережено загальну тенденцію до зростання індексу санітарного стану. Це засвідчує погіршення санітарного стану ялицевих насаджень з віком і може бути пов'язано з посиленням конкуренції між деревами за ресурси, що призводить до ослаблення окремих особин та створення сприятливих умов для розвитку різних видів фітопатогенів (табл. 4).

Таблиця 4. Індекс санітарного стану деревостанів за участю *Abies alba* залежно від частки деревного виду у складі за віковими групами

Table 4. Sanitary condition index of forest stands with the participation of *Abies alba* depending on the proportion of the species in the stand composition by age class

Частка ялиці у складі деревостану, од.	Вікові групи				
	Молодняки	Середньовікові	Пристиглі	Стиглі	Перестійні
3-4	1,47	2,02	1,73	1,20	1,00
5-6	1,55	3,34	2,74	1,29	1,00
7-8	1,63	3,85	2,91	1,38	1,10
9-10	1,86	4,31	3,54	1,55	1,25

Високі значення індексу фіксуються у пристиглих деревостанах, де частка ялиці у складі висока. Це може бути пов'язано з підвищеною сприйнятливістю деревних рослин до збудників

хвороб і шкідників, а також природним старінням деревних рослин, ослабленням їхньої життєздатності. У стиглих і перестійних деревостанах за усіх можливих комбінацій участі *Abies alba* у

складі спостерігається певна стабілізація індексу санітарного стану. Це може бути пов'язано з тим, що найслабші дерева вже відпали, а решта пристосувалися до умов середовища. У групі ризику – середньовікові ліси, які наразі знаходяться на межі переходу до стиглої фази, що пов'язано з фізіологічними змінами, які знижують їхню стійкість до впливу абіотичних і біотичних чинників. Їхній сучасний стан вимагає розробки спеціальних програм моніторингу та прогнозування для своєчасного виявлення і запобігання подальшого ослаблення лісостанів.

За результатами досліджень багатьох науковців частка участі деревних видів у складі мішаних насаджень є одним із ключових чинників, що визначає їхню продуктивність і санітарний стан (Forrester et al., 2013; Dirnberger & Sterba, 2014). Результати проведених нами досліджень підтвердили цю тенденцію і засвідчили, що міні-

мальний рівень ослаблення дерев *Abies alba* спостерігається у деревостанах з часткою участі виду 25–30%, що дає підстави вважати зазначений інтервал ценотично оптимальним за інших рівних умов. Зокрема, індекс санітарного стану у середньовікових деревостанах з часткою участі ялиці у складі 3–4 од. становить 2,02 (ослаблені), 5–6 од. – 3,34 (сильно ослаблені), а 7–8 та 9–10 од. – 3,85 і 4,31 відповідно (всихаючі).

Найвищий показник ослаблених особин (від загальної кількості облікованих дерев *Abies alba*, що знаходяться у межах дослідних ділянок з відповідним складом) фіксується у лісостанах із часткою ялиці 9–10 одиниць. Саме чисті ялицеві деревостани є найбільш ураженими різноманітними збудниками. Найменше значення цей показник має тоді, коли частка ялиці у складі деревостану знаходиться у межах ценотичного оптимуму (25–30%) впродовж усього періоду вирощування (рис. 1).

Частка Яцб у складі

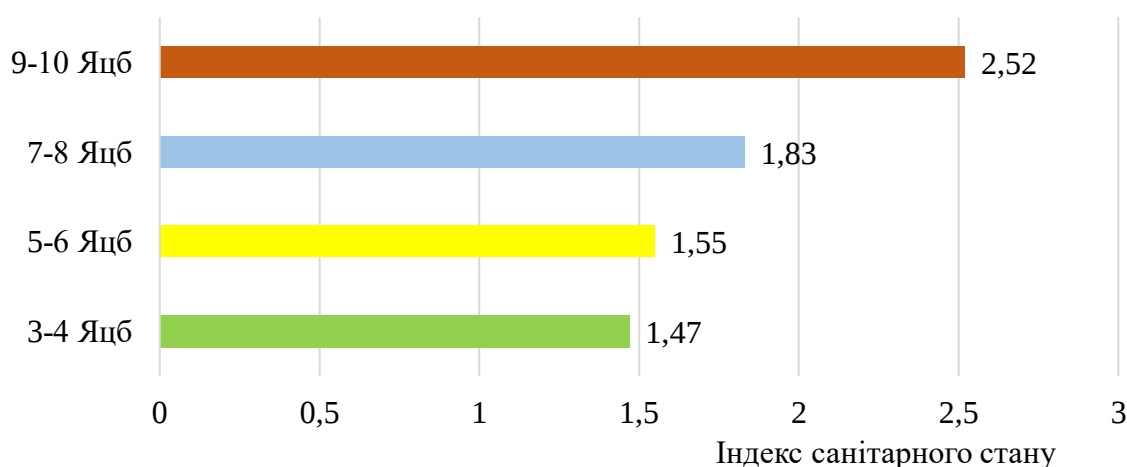


Рис. 1. Санітарний стан ялицевих деревостанів, що різняться часткою участі *Abies alba* у складі деревостану
Fig. 1. Sanitary condition of fir stands differing in the proportion of *Abies alba* in the stand composition

Необхідно зауважити, що отримані дані узгоджуються із загальною теорією, яка стверджує, що чисті деревостани є менш стійкими до впливу негативних факторів довкілля, а, відповідно, більш ослабленими порівняно з мішаними за складом деревостанами.

Ялицеві лісостани Покутсько-Буковинських Карпат – це унікальні, головним чином, природні угруповання, які характеризуються мозаїчністю і високим рівнем заселеності суміжних територій. Частина лісів регіону входить до заповідної зони ННП «Гуцульщина». Особливу цінність складають старовікові ліси і праліси. Саме тому потрібно враховувати той чинник, що на частині дослідних об'єктів практично не ведеться традиційна лісогосподарська діяльність, що дає змогу берегти і відтворювати природні екосистеми. Проте детальний аналіз санітарного стану

ялицевих лісостанів, що різняться часткою участі *Abies alba* у складі деревостану, дає змогу виокремити деякі особливості, які сформували прямий вплив на індивідуальну біотичну стійкість деревного виду та загальний санітарний стан ялицевих деревостанів.

Встановлено, що погіршення загального фітосанітарного стану ялицевих лісів найчастіше пов'язано із патологією (абіотичного чи біотичного походження) *Picea abies*, яка виступає провідним супутнім видом для *Abies alba*. Часто ці два деревні види інфікуються (пошкоджуються) однаковими видами фітопатогенних організмів і, таким чином, виникає високий ризик передачі інфекції контактним шляхом (від хворої до здорової особини). При цьому навіть незначна домішка листяних видів (*Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Acer*

pseudoplatanus та ін.) вагомо підсилює загальну картину резистентності ялицевого лісостану.

Генезис лісостану як чинник його біотичної резистентності. Відомо, що генезис лісових ценозів є визначальним чинником їх майбутньої біотичної стійкості. На більшості обстежених дослідних ділянок спостережено добре та задовільне природне насінне поновлення *Abies alba* (яке значною мірою залежить від інтенсивності розвитку трав'яного вкриття та підліску), що свідчить про корінну фітоценотичну природу ялицевих лісів в умовах Покутсько-Буковинських Карпат. Загалом в ялицевих деревостанах підріст розміщується рівномірно по площі, але його густина часто відзначається значною варіабельністю. Аналізуючи участь деревних видів у природному поновленні встановлено доміну-

вання *Abies alba*, частка якої від загальної кількості самосіву і підросту складає 35,0-90,0%. Це дає підставу зробити припущення, що в цих умовах деревний вид може зайняти домінуюче положення у процесі природної зміни материнського деревостану.

Аналіз лісівничо-таксаційних описів підприємств, які здійснюють лісгосподарську діяльність у межах досліджуваного регіону, дає підставу стверджувати, що 76,1% лісів Покутсько-Буковинських Карпат мають природне походження, а 23,9% – створені штучно. При цьому детальний аналіз деревостанів із переважанням у складі *Abies alba* засвідчує, що 83,5% ялицевих лісів Покутсько-Буковинських Карпат мають природне походження і лише 16,5% – штучне (табл. 5).

Таблиця 5. Розподіл площ лісів *Abies alba* Покутсько-Буковинських Карпат за походженням
Table 5. Distribution of *Abies alba* forest areas in the Pokuttia-Bukovyna Carpathians by origin

Категорія лісостану	Походження				Разом	
	Природне		Штучне (лісові культури)			
	Площа		Площа		Площа	
	га	%	га	%	га	%
Ліси із переважанням у складі <i>Abies alba</i>	14204,2	83,5	2806,8	16,5	17011,0	100,0

Встановлено, що санітарний стан деревостанів із переважанням у складі *Abies alba* корелює,

залежно від генезису, із типом лісу, в яких він формується (рис. 2).

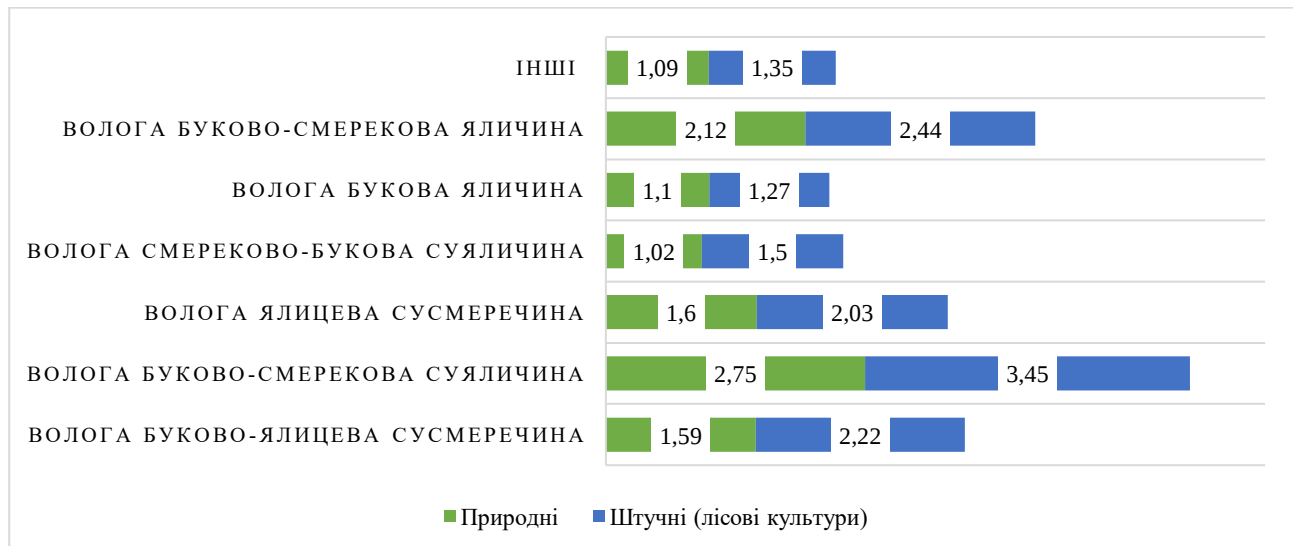


Рис. 2. Поширення патологій різного генезису у ялицевих лісах Покутсько-Буковинських Карпат (аналіз на основі середньозваженого показника Іс)

Fig. 2. Distribution of pathologies of various origins in fir forests of the Pokuttia-Bukovyna Carpathians (analysis based on the weighted average Is index)

Прослідковується чітка залежність підвищення середньозваженого показника індексу санітарного стану у деревостанах штучного походження (за інших рівних умов). Ця

тенденція зберігається у різних типах лісу. Так, найбільш ослабленими виявились ялицеві ліси, що сформувалися в умовах вологої буково-смерекової суяличини. При цьому у лісах

природного походження індекс санітарного стану був значно нижчим ($I_s = 2,75$), порівняно зі значенням, розрахованим для штучних насаджень ($I_s = 3,45$). Подібну тенденцію відзначено також в ялицевих деревостанах, які характеризуються слабким ступенем пошкодження / ураження. Так, наприклад, індекс санітарного стану природних лісів, що ростуть у вологій буково-ялицевій сушмеречині, становить 1,59, а в штучних лісах – 2,22. Навіть у ялицевих лісах, що відзначені нами як здорові, спостережено деяке зміщення індексу санітарного стану у бік його підвищення у лісостанах штучного походження.

Дискусія (Discussion).

Отримані результати фітосанітарного моніторингу свідчать, що деревостани за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах перебувають переважно у стані фізіологічного ослаблення. Просторова мозаїчність значень індексу санітарного стану (1,39–3,55) відображає істотну неоднорідність реакцій деревостанів на комплекс стресорів, що загалом узгоджується з підходами до розуміння “осередковості” деградації гірських хвойних лісів як результату взаємодії кліматичних, типологічних і біотичних чинників (Парпан & Гудима, 2015; Швиденко та ін., 2018). Водночас, на відміну від інших наукових робіт, де ослаблення інтерпретується насамперед як наслідок макрокліматичних трендів, наші дані підкреслюють роль локальних умов місцезростання (вікова структура, генезис, тип лісорослинних умов тощо) як “підсилювачів” стресу (Герушинський, 1996; Шпарик і ін., 2020).

Домінування ознак фізіологічного пригнічення за відсутності типових морфологічних симптомів у частини дерев підтверджує латентний характер патологічних процесів. Це узгоджується з сучасними уявленнями про те, що захворювання і пошкодження в лісі часто є не лише наслідком, але й чинником, який посилює інші порушення (вітровали, засухи, інвазії комах), формуючи явище деградації (Cobb, & Metz, 2017). З іншого боку, дані про тенденцію зростання середніх значень індексу санітарного стану на більшості пробних площ у 2021–2023 рр. доцільно розглядати і в контексті кліматично зумовлених змін та порушенні водного режиму, про що свідчать регіональні оцінки вразливості лісів України та тенденції трансформації лісорослинних умов у Карпатах (Швиденко та ін., 2018; Шпарик та ін., 2020). У цьому аспекті показовими є результати європейських досліджень радіального приросту, де для бука і ялиці, які ростуть поряд, встановлено різні реакції на зміну середовища залежно від клімату та умов місцезростання, що добре корелює з нашою мозаїчністю стану деревостанів (Bosela et al., 2018).

Особливу наукову увагу привертають дані з пробних площ 6, 12, 13 і 14 зі стабільно високим рівнем деградації. Їх можна розглядати як локальні “осередки ризику”, де поєднуються надмірна вологість ґрунту, конкурентний прес з боку *Picea abies*, а також активізація комплексу біотичних чинників. Важливо, що подібні фітоценотичні передумови ослаблення *Abies alba* для Покутських Карпат уже описані іншими авторами; наші дані підтверджують їхні висновки, але водночас деталізують просторово-часову стабільність таких осередків за індексом санітарного стану (Сорока та ін., 2019; Лосюк та ін., 2022). У цьому контексті логічно залучити до дискусії і результати Forrester et al. (2013), які показали, що комплементарність у мішаних деревостанах *Abies alba* – *Picea abies* істотно змінюється залежно від клімату, умов місцезростання і повноти, тобто сам факт змішування деревних видів ще не гарантує стабільності – вирішальними є конкретні екологічні налаштування ділянки.

Виявлений зв'язок між типом лісу та інтенсивністю патологічних процесів підтверджує ключову роль типологічного чинника. Найвищий рівень ослаблення у вологій буково-смерековій суяличині (середньозважений індекс 3,38) може бути наслідком поєднання конкурентного тиску смереки, підвищеної вологості та сприятливих умов для циркуляції інфекційних агентів. Цей висновок узгоджується з класичними положеннями типології Українських Карпат щодо обмежень і ризиків для ялиці поза її біоекологічним оптимумом (Герушинський, 1996; Тереля, 2000), а також з уявленнями про оптимальність ялицево-букових лісів як формацій, в яких *Abies alba* демонструє кращу стабільність порівняно з менш збалансованими за складом фітоценозами (Мякушко, 1971; Черневий, 2013). Водночас наші результати дозволяють дещо уточнити дискусійне питання “первинності” типологічного чи кліматичного драйвера: навіть за наявності загального кліматичного тиску, різко відмінні значення індексу між площами вказують, що локальні лісорослинні умови здатні істотно модифікувати прояв деградаційних процесів (Bosela et al., 2018; Шпарик та ін., 2020).

Фітосанітарний моніторинг засвідчив важливу роль патогенної біоти та її ценотичної організації. Виявлення збудників бактеріальної водянки та виразково-пухлиноподібної хвороби підтверджує значущість інфекційної етіології в деградації ялицевих деревостанів, що добре співвідноситься з результатами, отриманими для *Abies alba* в регіоні, де бактеріальну водянку розглядають як вагомий фактор ослаблення (Kulbanska et al., 2022). Поряд з цим, пошкодження камбіофагами, виявлені на частині дерев III

категорії, доцільно інтерпретувати переважно як вторинне заселення ослаблених дерев, що узгоджується із загальними уявленнями про послідовність розвитку патологічних процесів у лісових екосистемах (Cobb, & Metz, 2017). Значна частка механічних пошкоджень (вітровали, буреломи, морозобійні тріщини) додатково підкреслює важливість екстремальних гідрометеорологічних подій як тригерів ризику для гірських лісів, що загалом відповідає регіональним оцінкам трансформацій у Карпатському регіоні (Парпан, Гудима, 2015; Швиденко та ін., 2018).

Отримані дані про вищу стійкість різновікових мішаних деревостанів, порівняно з одновіковими та одновидовими, загалом підтримують концепцію підвищеної екосистемної стабільності структурно складних фітоценозів. Цей висновок добре узгоджується з біоекологічними принципами підтримання стійкості гірських лісових екосистем та з практиками наближеного до природи лісівництва, де різновіковість і складність структури розглядають як механізми буферування стресу (Bončina, 2011; Parpan, 2016). Водночас, з огляду на встановлені “вузли деградації”, потрібно зауважити: структурна складність сама по собі не усуває ризиків, якщо деревостани сформовані в умовах типологічної неузгодженості або за високого конкурентного тиску смереки (Герушинський, 1996; Forrester et al., 2013).

У сукупності результати вказують, що стан *Abies alba* у досліджуваному регіоні визначається тривалою багатофакторною взаємодією, а прогресування деградаційних процесів має тенденцію до просторового розширення осередків і структурного руйнування деревостанів. Це співзвучно з висновками регіональних досліджень про сучасний стан ялицевих лісів Покутських Карпат, але наші дані акцентують увагу саме на діагностичній цінності індексу санітарного стану для раннього виявлення зон ризику та обґрунтування пріоритетів лісівничих заходів (Сорока та ін., 2019, 2024; Лосюк та ін., 2022). Враховуючи кліматичні тенденції та очікувану зміну лісорослинних умов у Карпатах, подальші дослідження мають бути спрямовані на прогнозування ризиків та оптимізацію лісівничих рішень з урахуванням типологічної відповідності, структури деревостану і фітопатологічних загроз (Parpan, 2016; Швиденко та ін., 2018; Шпарик та ін., 2020).

Висновки (Conclusions).

1. Санітарний стан деревостанів за участю *Abies alba* Mill. у Покутсько-Буковинських Карпатах оцінюється як ослаблений, з переважанням ознак фізіологічного пригнічення біотичного походження. Середні значення індексу санітарного стану (I_s) варіюють від 1,39 до 3,55, що відповідає

стану від слабо до середньоослабленого деревостану та свідчить про значну просторово-часову неоднорідність фітосанітарної ситуації. Найвищі показники ослаблення зафіксовані на пробних площах 6, 12, 13 та 14 ($I_s = 3,51\text{--}3,55$), тоді як на ділянках 2, 4, 5 і 7 I_s становив 1,39–1,77. Впродовж трирічного спостереження на більшості пробних площ I_s зростав на 0,15–0,35, що відображає посилення стресового навантаження на дерева.

2. Деревостани з мішаним видовим складом і складною структурною організацією характеризуються підвищеною продуктивністю та колективною резистентністю до абіотичних і біотичних чинників. Багаторусна структура деревостанів, що включає види з різними типами кореневих систем, сприяє ефективнішому використанню ґрунтової вологи та поживних речовин, зміцнює протиерозійну функцію лісів та підвищує їхню стійкість до вітровалів, сніголамів, лісових пожеж і шкідників.

3. Поширення та інтенсивність патологічних процесів визначаються лісорослинними умовами. Найбільш ослаблені деревостани виявлено у вологій буково-смерековій суяличині ($I_s = 3,38$), тоді як у вологій смереково-буковій суяличині та вологій буковій яличині санітарний стан залишається стабільним ($I_s = 1,12; 1,30$). Збільшення частки *Picea abies* та відхилення умов від еколого-біотичного оптимуму для ялиці супроводжується підвищенням ризику деградаційних процесів.

4. Структурно-функціональна організація патогенної біоти значною мірою визначається видовим і віковим складом деревостанів. Найбільші площі серед лісів за участю ялиці білої охоплюють деревостани з участю у складі 5–6 одиниць ялиці (47,0%), тоді як інші варіанти (3 або 9–10 одиниць) трапляються рідше (3,5–5,5 %) і демонструють підвищену фітосанітарну вразливість. Індекс санітарного стану зростає зі збільшенням частки ялиці та віку деревостанів – від 1,47–1,86 до 3,34–4,31; у перестійних лісах I_s стабілізується на рівні 1,00–1,25. Середньовікові деревостани з часткою *Abies alba* у складі понад 50% є найбільш уразливими і потребують пріоритетного моніторингу.

5. Санітарний стан деревостанів значною мірою залежить від генезису та видового складу лісів. У природних за походженням деревостанах I_s нижчий, ніж у штучних: у вологій буково-смерековій суяличині – 2,75 проти 3,45; у вологій буково-ялицевій сушмеречині – 1,59 проти 2,22. Навіть незначна домішка листяних видів і природне формування деревостанів підвищують біотичну стійкість *Abies alba*.

6. Отримані результати підтверджують важливість врахування лісівничо-таксаційних показ-

ників (типу лісорослиних умов, вікової структури, походження деревостанів, видового складу) для прогнозування темпів деградації та розроблення ефективних заходів із підтримання належного санітарного стану деревостанів. Отримані дані мають практичне значення для лісовпорядкування, управління гірськими лісовими екосистемами та запровадження заходів з підвищення стійкості лісів до негативного впливу біотичних та абіотичних чинників.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Annals of the nature of the national natural park "Hutsulshchyna". (2015). *Annals of the nature of the national natural park "Hutsulshchyna"* (Vol. 12). NNP "Hutsulshchyna".
<https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0120U103872/>
 [Літопис природи НПП «Гуцульщина» (2015). Косів: НПП «Гуцульщина», т. 12.] (in Ukrainian)
- Bončina, A. (2011). History, current status and future prospects of uneven-aged forest management in the Dinaric region: An overview. *Forestry*, 84(5), 467–478. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr023>
- Bosela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., & Büntgen, U. (2018). Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of the Total Environment*, 615, 1460–1469.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>
- Cherneviy, Yu. I. (2013). Development of the vertical structure of mountain fir-beech stands. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(6), 93–100.
nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_6/index23_6.htm
 [Черневий, Ю. І. (2013). Розвиток вертикальної структури гірських ялицево-букових деревостанів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(6), 93–100.] (in Ukrainian)
- Cobb, R. C., & Metz, M. R. (2017). Tree diseases as a cause and consequence of interacting forest disturbances. *Forests*, 8(5), 147.
<https://doi.org/10.3390/f8050147>
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Dieback of the spruce forests: Causes and consequences. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(16), 32–38.
nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/index.htm
 [Дебрінюк, Ю. М. (2011). Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 32–38.] (in Ukrainian)
- Dimberger, G. F., & Sterba, H. (2014). A comparison of different methods to estimate species proportions by area in mixed stands. *Forest Systems*, 23(3), 534–546.
- Forrester, D. I., Kohnle, U., Albrecht, A. T., & Bauhus, J. (2013). Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. *Forest Ecology and Management*, 309, 88–98.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.022>
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of the forests of the Ukrainian Carpathians*. Піраміда. [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Golubets, M. A. (2003). Geobotanical zoning of the Ukrainian Carpathians is the basis of sustainable environmental management. In *Ecological collection: Ecological problems of the Carpathian region* (T. Shevchenko Scientific Society, XII, pp. 283–292).
 [Голубець, М. А. (2003). Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону*, Наукове товариство ім. Т. Шевченка, XII, 283–292.] (in Ukrainian)
- Gudyma, V. D., Parpan, T. V., & Plikhtyak, P. P. (2019). Functional-purpose and age structure of mountain forests of the Ukrainian Carpathians. *Forestry and Agroforestry*, 133, 71–77.
<https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.71>
 [Гудима, В. Д., Парпан, Т. В., Пліхтяк, П. П. (2019). Функціонально-цільова і вікова структура гірських лісів Українських Карпат. *Лісівництво та агролісомеліорація*, 133, 71–77.] (in Ukrainian)
- Hostiuk, Z. V., & Melnyk, A. V. (2017). The Pokuttia Carpathians in the system of physical and geographical regionalization of the Ukrainian Carpathians. *Fizychna Neohrafiia ta Neomorfologhiia*, 4(88), 12–21. <https://surl.li/qkcigx>
 [Гостюк, З. В., Мельник, А. В. (2017). Покутські Карпати в системі фізико-географічного районування Українських Карпат. *Фізична географія та геоморфологія*, 4(88), 12–21.] (in Ukrainian)
- Krynytsky, H., Korol, M., Lavnyy, V., Kovalova, V., Kramarets, V., Krynytska, O., & Mahuran, V. (2023). Silvicultural and ecological features of distribution and enhancement of biotic resistance of pine forest stands in the Lviv region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 87–97. <https://doi.org/10.15421/412306>
 [Криницький, Г., Король, М., Лавний, В., Ковальова, В., Крамарець, В., Криницька, О., Магуран, В. (2023). Лісівничо-екологічні особливості поширення та підвищення біотичної стійкості

- соснових лісостанів в умовах Львівського регіону. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 87–97.] (in Ukrainian)
- Kulbanska, I. M., Plikhtyak, P. P., Shvets, M. V., Soroka, M. I., & Goychuk, A. F. (2022). *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 as the causative agent of bacterial dropsy of common silver fir (*Abies alba* Mill.). *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(3), 173–183. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0017>
- Losyuk, V., Pohribnyi, O., Tomych, M., Chaskovsky, 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)
- Matuszkiewicz, W. (2022). *Guide for the determination of plant communities in Poland*. PWN.
- [Matuszkiewicz, W. (2022). *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. Warszawa: PWN.] (in Polish)
- Meshkova, V. L., Borysenko, O. I., & Pryhornytskyi, V. I. (2018). Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 16, 106–114. <https://doi.org/10.15421/411812>
- Miakushko, V. K. (1971). Fir–beech forests. In *Vegetation of the Ukrainian SSR. Forests of the Ukrainian SSR* (pp. 189–193). Naukova dumka.
- [М'якушко, В. К. (1971). Ялицево-букові ліси. У *Рослинність УРСР. Ліси УРСР* (с. 189–193). Київ: Наукова думка.] (in Ukrainian)
- Parpan, T. V. (2016). Bioecological principles of maintaining stability in mountain forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians. *Biosystems Diversity*, 24(2), 371–377. <https://doi.org/10.15421/011649>
- Parpan, T. V., & Gudyma, V. D. (2015). Natural and anthropogenic changes in mountain forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians and ways of maintaining their stability. *Forestry and Agroforestry*, 126, 212–217. jnas.nbu.gov.ua/uk/article/UJRN-0000538181
- [Парпан, Т. В., Гудима, В. Д. (2015). Природно-антропогенні зміни в гірських лісових екосистемах Українських Карпат та шляхи підтримки їхньої стабільності. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 126, 212–217.] (in Ukrainian)
- Plichtiak, P., Kulbanska, I., Soroka, M., & Gojczuk, A. (2023). Changes in the species composition of fir-beech forests under the influence of selective cutting in the Pokutsky Carpathians (Ukraine). *Management of Environmental Protection in Forests*, XV, 7–22. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.7138>
- [Plichtiak, P., Kulbanska, I., Soroka, M., & Gojczuk, A. (2023). Zmiany składu gatunkowego lasów jodłowo-bukowych pod wpływem cięć selektywnych w Karpatach Pokuckich (Ukraine). *Zarządzanie ochroną przyrody w lasach*, XV, 7–22.] (in Polish)
- Saban, Ya. O. (1990). Regarding increasing the productivity of the forests of the Ukrainian Carpathians. In *Forest management system in the mountainous conditions of the Carpathians* (pp. 119–120). KF UkrNDILGA.
- [Сабан, Я. О. (1990). Щодо підвищення продуктивності лісів Українських Карпат. *Система ведення лісового господарства в гірських умовах Карпат*. Івано-Франківськ: КФ УкрНДІЛГА, 119–120.] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (1995). *Sanitary rules in the forests of Ukraine* (Resolution No. 555; revised July 24, 2022). <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/14175-22.10.18.pdf>
- [Санітарні правила в лісах України (1995). Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 26.10.2016 р., № 756. 31 с.] (in Ukrainian)
- Shparyk, Yu. S., Krynytskyi, H. T., & Debryniuk, Iu. M. (2020). Trends in the dynamics of types of forest vegetation conditions and species composition of stands in the Ukrainian Carpathians in connection with climate change. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 82–92. <https://doi.org/10.15421/412008>
- [Шпарик, Ю. С., Криницький, Г. Т., Дебринюк, Ю. М. (2020). Тенденції динаміки типів лісорослинних умов і породного складу деревостанів Українських Карпат у зв'язку зі змінами клімату. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 82–92.] (in Ukrainian)
- Shvydenko, A. I. (1980). *Fir forests of Ukraine*. Vyshcha Shkola.
- [Швыденко, А. И. (1980). *Пихтовые леса Украины*. Львов: Вища школа. 264 с.] (in Russian)
- Shvydenko, A. Z., Buksha, I. F., & Krakovska, S. V. (2018). *Vulnerability of Ukrainian forests to climate change*. Nika-Tsentr.
- [Швиденко, А. З., Букша, І. Ф., Краковська, С. В. (2018). *Уразливість лісів України до зміни клімату*. Київ: Ніка-Центр. 184 с.] (in Ukrainian)
- Soroka, M., Wozniak, A., Hoiychuk, A., Oniskiv, A., & Plikhtyak, P. (2019). Phytocoenotic preconditions of drying of *Abies alba* Mill. dieback in the forest cenoses of the Pokut Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 18, 21–34. <https://doi.org/10.15421/411902>

- [Сорока, М., Возняк, А., Гойчук, А., Ониськів, А., Пліхтяк, П. (2019). Фітоценотичні передумови всихання *Abies alba* Mill. у лісових ценозах державного підприємства «Кутське лісове господарство». *Наукові праці ЛАН України*, 18, 21–34.] (in Ukrainian)
- Soroka, M., Wozniak, A., Plikhtyak, P., Hoychuk, A., & Kulbanska, I. (2024). System-and-structural features of the phytobiota of the fir-beech forests of the Pokuttia Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 20–34. <https://doi.org/10.15421/412401>
- [Сорока, М. І., Возняк, А., Пліхтяк, П. П., Гойчук, А. Ф., Кульбанська, І. М. (2024). Системно-структурні особливості фітобіоти ялицево-букових лісів Покутських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 26, 20–34.] (in Ukrainian)
- Terelya, I. P. (2000). To the question of the cadastre of white fir forest types in the Ukrainian Carpathians. In *The concept of development of forest typology in Ukraine in the context of forest education and increasing the productivity of forest plantations* (pp. 121–124). [Тереля, І. П. (2000). До питання кадастру типів лісу ялиці білої в Українських Карпатах. *Концепція розвитку лісової типології в Україні в контексті лісової освіти і підвищення продуктивності лісових насаджень*. Харків, 121–124.] (in Ukrainian)
- Ukrainian State projekt forestry production association (Ukrderzhlisproekt). (n.d.). *Ukrderzhlisproekt* [Website]. <https://nfi.lisproekt.gov.ua/>
- [Українське державне проектне лісовпорядне виробниче об'єднання «Укрдержлісprojekt».] (in Ukrainian)
- Vandzhurak, P., & Debryniuk, Iu. (2022). The Pokuttia Carpathians as a natural and forestry region of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 47–55. <https://doi.org/10.15421/412204>
- [Ванджурак, П. І., Дебринюк, Ю. М. (2022). Покутські Карпати як природно-лісогосподарський регіон Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 47–55.] (in Ukrainian)
- Vandzhurak, P., Debryniuk, Iu., & Savchyn, V. (2023). Forest stands of the Pokuttia Carpathians: Distribution and forest mensurational description. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 39–55. <https://doi.org/10.15421/412303>
- [Ванджурак, П. І., Дебринюк, Ю. М., Савчин, В. М. (2022). Лісостани Покутських Карпат: поширення та лісівничо-таксаційна характеристика. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 39–55.] (in Ukrainian)

Forest-mensuration determinants of the formation of the sanitary condition of forest stands with the participation of *Abies alba* Mill. in the Pokuttia–Bukovyna Carpathians

I. Kulbanska¹, A. Goychuk², M. Soroka³

Contemporary approaches to assessing the sanitary condition of forest stands involving *Abies alba* Mill. are summarized, and the key role of forest-mensuration indicators in shaping their resilience under the influence of abiotic, anthropogenic, and biotic factors is identified. The aim of the study was to determine the determinants of the sanitary condition of forests in the Pokuttia–Bukovyna Carpathians and to reveal the dynamics of degradation and recovery processes depending on the structure and typological characteristics of forest stands.

The study was conducted in 2021–2023 across 15 sample plots, which are characterized by diverse silvicultural and forest inventory attributes, using forest pathological transect surveys and determining the weighted average sanitary condition index (Is). The information base comprised forest inventory data provided by forestry enterprises through the Ukrainian State Forest Management Planning Association (Ukrderzhlisproekt), as well as data obtained as a result of field phytosanitary surveys.

¹ Ivanna Kulbanska – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor at Forestry. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 19 General Rodimtsev St., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: kulbanska@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3424-8106>

² Anatoliy Goychuk – Full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural sciences, Professor, Professor at the Department of Applied Biology, Animal Breeding and Genetics. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 19 General Rodimtsev St., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: ogoychuk@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6827-2307>

³ Soroka Myroslava – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Botany. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

The mean values of the sanitary condition index ranged from 1.39 to 3.55, corresponding to forest stands conditions from slightly weakened to moderately weakened, and indicating pronounced spatio-temporal heterogeneity of the phytosanitary situation. The most weakened stands were identified in sample plots 6, 12, 13, and 14 ($I_s = 3.51\text{--}3.55$), whereas in plots 2, 4, 5, and 7 the I_s values ranged from 1.39 to 1.77. In the majority of sample plots, an increase in I_s by 0.15–0.35 was recorded over the three-year period, reflecting an intensification of stress pressure.

Multispecies and structurally complex forest stands are characterized by increased productivity and enhanced collective resistance to both abiotic and biotic factors. A multi-layered forest stand structure composed of species with different types of root systems, ensures more efficient utilization of soil moisture and nutrients, enhances the forests' anti-erosion function, and increases their resistance to windthrows, snowbreaks, fires, and phytophagous insects.

The distribution and intensity of pathological processes are influenced by forest site types. The highest level of weakening was recorded in moist beech–spruce forest stands of fairly fertile fir-forest type ($I_s = 3.38$; 46.5% of the area), whereas in moist spruce–beech forests of fairly fertile fir-forest type and moist beech forests of fertile fir-forest type, the sanitary condition remains stable ($I_s = 1.12$ and 1.30, respectively). An increase in the proportion of *Picea abies* and deviations of site conditions from the ecological and biological optimum for fir are accompanied by an elevated risk of forest stand degradation.

The structural and functional organization of pathogenic biota depends on the species composition and age structure of forest stands. The largest areas are occupied by stands containing 5–6 units of fir (47.0%), whereas extreme variants (3 and 9–10 units) occur less frequently (3.5–5.5%) and are characterized by increased phytosanitary vulnerability. The sanitary condition index increases with a higher proportion of fir and stand age, from 1.47–1.86 to 3.34–4.31; in overmature forests. I_s stabilizes at 1.00–1.25. Middle-aged fir stands with a proportion of *Abies alba* exceeding 50% are the most vulnerable and require priority monitoring.

The sanitary condition of forest stands involving *Abies alba* is largely dependent on their genesis and species composition. In natural stands (83.5% of the area), I_s is lower than that in artificially established stands: in moist beech–spruce stands of fairly fertile fir-forest type, 2.75 versus 3.45; in moist beech–fir stands of fairly fertile spruce-forest type, 1.59 versus 2.22. Even a minor admixture of broad-leaved species and natural stand formation enhance the biotic resistance of *Abies alba*.

The results obtained confirm the importance of silvicultural and mensurational parameters (forest type, age structure, origin, species composition) for predicting degradation rates and developing a system of measures to maintain the sanitary condition of forest stands. These findings are of practical significance for forest regulation, management of mountain forest ecosystems, and enhancing forest resistance to negative biotic and abiotic factors.

Key words: *Abies alba*; phytosanitary monitoring; forest ecosystems; age structure; genesis; forest site type; sanitary condition index.