



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412608>
Article received 2025.09.15
Article revised 2026.01.12
Article accepted 2026.02.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Forgil
Yaroslav.Forgil@gmail.com
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, 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*228.81 : 630*231

Вплив лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на формування запасу деревини ялинових лісостанів у Покутсько-Мармароських Карпатах

Я.С. Форгіль¹, Ю.С. Миклуш²,

Picea abies (L.) Karst. є одним із перспективних деревних видів для отримання значних запасів деревини не лише в смерекових, але й в ялицевих типах лісу. Особливість ялини європейської нагромаджувати високі запаси деревини в яличинах і суяличинах було помічено давно, у зв'язку з чим цей деревний вид широко культивували в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини, часто створюючи чисті ялинові насадження. Як базовий об'єкт для проведення дослідження нами вибрано Верховинське л-во Верховинського надлісництва, на території якого зосереджені сугрудові і грудові смерекові та ялицеві типи лісу, які є характерними для всього північно-східного макросхилу Українських Карпат.

Ялина європейська в умовах С₃-бк-яцСм за частки у деревостані у 8-10 од. відзначається доволі високою продуктивністю, нагромаджуючи у віці 100-120 років понад 500 м³·га⁻¹ стовбурової деревини. Максимальних запасів ялинові деревостани досягають у віці 60-80 років – понад 600 м³·га⁻¹. За дослідними даними, залежності між складом деревостану та запасом деревини не встановлено. В умовах С₃-см-бкЯц ялина за високої участі в складі деревостану максимальні запаси формує у віці 60-70 років – близько 600 м³·га⁻¹. Зі збільшенням віку лісостанів запаси деревостанів знижуються через втрату ялиною біотичної стійкості та проведені господарські заходи.

В умовах вологої сусмеречини найбільше ділянок – як за кількістю, так і за площею зосереджено на висоті 1101-1200 м, в умовах вологої суяличини – на висоті 1001-1050 м н.р.м. Ялинові деревостани в сусмеречині піднімаються до висоти 1301-1400 м, в суяличині – лише до висоти 1051-1100 м н.р.м.

В умовах С₃-бк-яцСм найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах С₃-см-бкЯц значна частина ділянок (32%) тягнє до північного та північно-західного схилів.

¹ Форгіль Ярослав Святославович – аспірант кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: Yaroslav.Forgil@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2236-1793>

² Миклуш Юрій Степанович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Технологічний університет Шеннона, вул. Університетська, м. Атлон, графство Вестміт, Ірландія. E-mail: yuriy.myklush@tus.ie ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1940-1045>

Насадження на південно-західних і західних схилах характеризуються суттєвим регресом продуктивності. Цей спад є мінімальним у корінних умовах сушмеречини ($430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і стає критичним у похідних ялинниках суяличини ($282 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), що вказує на синергетичний ефект кліматичного та антропогенного пресингу. Стрімкість схилів виступає регулятором антропогенного пресингу.

Математичні моделі зв'язку між таксаційними характеристиками ялинових деревостанів та орографічними чинниками є значно адекватнішими для буково-ялицевих сушмеречин ($R = 0,54 \dots 0,64$), ніж для смереково-букових суяличин ($R = 0,32 \dots 0,47$). У деревостанах вологої сушмеречини динаміка запасу є природною та висхідною – визначальним є позитивний вплив фактора віку. У деревостанах вологої суяличини виявлено деструктивні процеси: на північних схилах збільшення частки ялини призводить до зниження запасу ($b = -0,24$), а на південних схилах спостережено регрес запасу за збільшення віку насаджень ($b = -0,320$), що свідчить про їхню втрату стійкості та передчасний розпад.

Ключові слова: *Picea abies* (L.) Karst.; запас деревини; вік; частка ялини; експозиція схилів; стрімкість схилів; висота над рівнем моря.

Вступ (Introduction).

Вирощування високопродуктивних лісос-танів є одним із ключових завдань підприємств лісової галузі. Основним показником, що відображає характер лісогосподарювання та потенційні можливості виконання деревостанами різнопланових функцій, вважається обсяг вирощеної деревини. Запаси деревини тісно пов'язані з характером та інтенсивністю лісогосподарських заходів (Король, Вицега, 2006; Криницький, Крамарець, 2009; Дебринюк, 2011; Гриник, 2012 та ін.), виконання яких регламентується нормативними документами (Правила поліпшення ..., 2007; Санітарні правила ..., 2016). Динамічні процеси росту і формування структури ялинових лісостанів, які характеризуються певними особливостями залежно від експозиції та стрімкості схилів, висоти над рівнем моря, проявляються через основні лісівничо-таксаційні показники – частку ялини у складі деревостанів, їхню повноту та запаси стовбурової деревини (Король, Вицега, 2006; Гриник, 2011; Лавний, Матусевич, 2023).

Picea abies (L.) Karst. на північно-східному макросхилі Українських Карпат формує чисті та мішані за складом деревостани у шести найпоширеніших типах лісу, серед яких вологий чистосмерековий субір, волога високогірна сушмеречина, волога букова сушмеречина, волога ялицева сушмеречина, волога буково-ялицева сушмеречина та волога буково-ялицева смеречина (Матусевич, 2022). Лісостани ялини європейської, незважаючи на часткову втрату нею біотичної стійкості у зв'язку зі зміною клімату, володіють значним ресурсним потенціалом, а *Picea abies* залишається основним комерційним деревним видом Карпатського регіону.

Низка дослідників (Криницький, Крамарець, 2009; Дебринюк та ін., 2013; Парпан та ін., 2014; Лавний, Пелюх, 2019; Гриник, 2011; Матусевич,

2022; Лавний, Матусевич, 2023) характеризують ялину як швидкорослу породу в багатих і відносно багатих типах лісорослинних умов, яка здатна нагромаджувати значні обсяги стовбурової деревини, залишаючись до певного віку достатньо біотично стійкою (Шпарик, 2019; Pelyukh et al., 2019).

Станом на 01.2018 р. загальна площа ялинових лісостанів на території Івано-Франківської обл. становила 258 тис. га (48,4% від загальної площі лісів) із загальним запасом 94,9 млн м^3 (Лавний, Матусевич, 2023). За аналізом лісовпорядкувальних матеріалів 2016-2024 рр., лісостани з перевагою у складі *Picea abies* лише в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини займають площу 38,7 тис. га (Форгіль, Дебринюк, 2025).

Ялинові насадження Українських Карпат формувалися в основному під впливом антропогенного фактора, що позначилось на їхній структурі, закономірностях росту та зміні таксаційних показників (Король, Вицега, 2006). За результатами досліджень Вицеги, Гриника (2004) внаслідок процесів, спричинених доглядовими рубаннями, розвиток деревостанів відхиляється від оптимуму. Дослідження таксаційної будови смерекових деревостанів засвідчили значну варіабельність показників ексцесу та асиметрії залежно від віку та характеру проведених рубок догляду.

В умовах високогір'я Горган Черневий та ін. (2011) встановили, що у штучних насадженнях швидкість росту ялини виявилася майже удвічі вищою, ніж у природних. На високу продуктивність мішаних насаджень ялини та ялиці в Горганах вказували Keeton et al. (2010). За даними Миклуша та ін. (2024), за умови вирощування насаджень за відносної повноти 0,8, у віці 120 років ялинові деревостани в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини на висоті 900-1100 м н.р.м. можуть нагромаджувати

запас деревини до $900 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; дещо менші запаси – на висоті 801-900 м і найменші – на висоті 700-800 м над рівнем моря. На високу стійкість і продуктивність ялинових лісостанів у Покутських Карпатах на висотах понад 900 м н.р.м. вказують Лосюк та ін. (2021).

За даними Матусевича (2022), в умовах $C_3\text{-}C_{\text{м}}$ на висотах 900-1300 м н.р.м. чисті ялинові деревостани займають спадисті і стрімкі схили, формуючи середньоповнотні лісостани із запасом деревини у віці рубки головного користування $500\text{-}550 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Деревостани в умовах $C_3\text{-}бк\text{-}яцC_{\text{м}}$ (800-1300 м н.р.м.), будучи найпоширенішими у регіоні дослідження, характеризуються високими класами бонітету ($I\text{-}I^a$), середньою повнотою, є біологічно стійкими і високопродуктивними ($600\text{-}650 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), займаючи спадисті і стрімкі схили. Лісові насадження в умовах $D_3\text{-}бк\text{-}яцC_{\text{м}}$ є найпродуктивнішими серед ялинових типів лісу, формують запаси у віці головного користування близько $700\text{-}750 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Лісостани займають висоти 750-1100 м н.р.м., формуються переважно на спадистих схилах і представлені середньоповнотними та високобонітетними деревостанами. З віком та зі збільшенням висоти н.р.м. простежується зниження значень як середньої відносної повноти, так і середнього класу бонітету, незалежно від частки головної породи у складі ялинових деревостанів Українських Карпат (Гриник, 2011).

За рекомендацією Шпарика (2019), для забезпечення високої продуктивності та стійкості ялинових деревостанів у мішаних насадженнях грудових типів лісу частку ялини у складі лісових культур необхідно довести до 40-50%. У високогірних чистих суслеречинах густоту потрібно довести мінімум до 6,5 тис. шт./га і відмовитися від доглядових рубань в молодняках; в інших типах лісу доцільно створювати плантаційні лісові культури ялини європейської.

Подібного погляду притримуються Крамарець, Криницький (2009), які пропонують на місці всихаючих ялиників запроваджувати плантаційне лісовирощування із використанням швидкорослих та високопродуктивних порід (зокрема модрина, псевдотсуги та ін.).

На важливості заміни похідних ялиників та створення на їхньому місці деревостанів за типом корінних акцентують увагу низка дослідників (Криницький, Крамарець, 2009; Слободян, 2010, 2012; Парпан та ін., 2014; Debrunuk, 2017; Лавний, Пелюх, 2019). Такий захід дасть можливість оздоровити ґрунт, зменшити інфекційний фон, знизити активність фітогельмінтів, оптимізувати нематодний комплекс ґрунту, підвищити стійкість та продуктивність ялинових лісостанів.

Одним із найпотужніших чинників, який виявляє негативний вплив на лісові екосистеми, є зміни клімату, адаптацію до яких лісові фітоценози проходять дуже складно (Стойко, 2011). Зокрема, Лавний, Пелюх (2019) встановили негативний синергетичний вплив зміни клімату та посилення антропогенного навантаження на стан, структуру і функціонування похідних ялинових деревостанів Українських Карпат. За даними Trotsiuk et al. (2014), режими природних порушень відіграють ключову роль у формуванні структури та розвитку лісу на рівні насаджень та ландшафтів. На думку Миклуша та ін. (2015), трансформаційні процеси у лісових екосистемах Карпат зумовлені одночасною дією різноманітних як природних абіотичних і біотичних, так і антропогенних чинників, які тісно взаємопов'язані між собою та посилюють дію кожного зокрема, спричиняючи зміни в структурних компонентах і динаміці розвитку лісових угруповань, зниження їхньої біологічної стійкості та стабільності, а інколи й деградацію лісових насаджень. Albrich et al. (2020) зазначають, що гірські ліси особливо сприйнятливі до зміни клімату, але водночас їхня складна топографія може допомогти пом'якшити наслідки зміни клімату та створити кліматичні рефугіуми. Автори обґрунтовують, що навіть помірне потепління (на $+2^\circ$, коли система вже переходить в альтернативний стан) може призвести до критичних змін у лісових екосистемах та підкреслюють важливість топографічної складності як буферного фактора.

Актуальність проблеми зумовлена значним зниженням біотичної стійкості ялини європейської, скороченням площ лісостанів за участю деревного виду, практично повним випаданням ялини зі складу насаджень у букових типах лісу. Поряд з цим, ялина залишається основною лісотвірною породою в Українських Карпатах, дуже важливим комерційним об'єктом, попит на деревину якого практично необмежений. Тому здійснення аналізу впливу лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на запаси деревини ялини є науково та практично обґрунтованим кроком для розроблення стратегії збереження і раціонального використання цих лісостанів. Такий аналіз також набуває особливого значення з погляду оцінювання сучасного стану та ресурсного потенціалу ялини європейської, прогнозування запасу ялинових насаджень та оптимізації лісогосподарських заходів в умовах кліматичних змін.

Мета роботи полягає у встановленні впливу віку, частки у складі ялини європейської, висоти над рівнем моря, експозиції і стрімкості схилу на запас стовбурової деревини ялинових

деревостанів в умовах вологих сушмеречини та суяличини.

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

Об'єкт досліджень – процеси формування запасу деревини в ялинових деревостанах під впливом різних лісівничо-таксаційних та орографічних чинників. *Предмет досліджень* – вплив віку, частки ялини в складі, висоти н.р.м., стрімкості та експозиції схилів на запас стовбурової деревини в умовах вологих буково-ялицевої сушмеречини та смереково-букової суяличини.

Як базовий об'єкт для проведення дослідження нами вибрано Верховинське л-во Верховинського надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс». За лісорослинним районуванням (Молотков, Федець, 1966), лісовий фонд Верховинського л-ва віднесено до району ялинових і буково-ялицево-ялинових високогірних лісів Покутсько-Мармороських Карпат, які розташовані в межах трьох вертикальних термічних зон: а) помірної зони з висотами до 850 м н.р.м. з середньою температурою липня $+15...+17^{\circ}\text{C}$, січня – $-5...-7^{\circ}\text{C}$; б) прохолодної зони в межах висот 850...1250 м н.р.м. з середньою температурою липня $+13...+15^{\circ}\text{C}$, січня – $-7...-9^{\circ}\text{C}$; в) помірно холодної зони на висотах 1250...1500 м н.р.м. з середньою температурою липня $+10...+13^{\circ}\text{C}$, січня – $-9...-11^{\circ}\text{C}$. Загальна площа лісового фонду лісництва становить 5386 га, площа вкритих лісовою рослинністю ділянок – 4962,0 га.

Із проаналізованих нами типів лісу в межах дев'яти лісництв північно-східного макросхилу Українських Карпат саме у лісовому фонді Верховинського лісництва зосереджені сугрудові і грудові смерекові та ялицеві типи лісу, які характерні для всієї частини Покутсько-Мармороських Карпат. З них, смерекові та ялицеві сугрудові типи лісу займають площу 3233,2 та 767,2 га, грудові типи лісу – 472,0 та 121,8 га відповідно. Частка п'яти сугрудових ($C_2\text{-бк-яцСм}$, $C_3\text{-бк-яцСм}$, $C_3\text{-яцСм}$, $C_3\text{-См}$, $C_3\text{-бк-смЯц}$) та двох грудових ($D_3\text{-бк-яцСм}$, $D_3\text{-бк-смЯц}$) типів лісу посідає 92,6% від площі вкритих лісовою рослинністю ділянок лісництва.

Аналіз впливу лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на формування запасу деревини ялинових деревостанів у межах типів лісу здійснювали за лісовпорядкувальними матеріалами 2016-2024 років. Аналіз здійснено для двох найпоширеніших серед смерекових та ялицевих типів лісу – вологої буково-ялицевої сушмеречини ($C_3\text{-бк-яцСм}$) та вологої буково-смерекової суяличини ($C_3\text{-бк-смЯц}$), які займають площу, відповідно, 1268,5 та 767,2 га.

Загалом було проаналізовано більше 1,8 тис. таксаційних виділів у смерековому та ялицевому типах лісу. Назви типів лісу наведено за Герушинським (1996). У процесі аналізу зібраних матеріалів використано лісівничо-таксаційні та математико-статистичні методи дослідження. Статистичний аналіз даних виконано з використанням пакету Statistica (Мамчич та ін., 2006).

Результати (Results).

У лісовому фонді Верховинського лісництва, з урахуванням незімкнутих лісових культур, чисті та мішані ялинові деревоستاني формуються на площі 5073,1 га та представлені майже 2,0 тис. таксаційними виділами різної площі. Найбільші площі ялинових деревостанів представлені протиерозійними (2656 га) та експлуатаційними (2185,5 га) лісами.

З урахуванням ґрунтово-кліматичних та орографічних умов, у лісовому фонді лісництва виділено 10 типів лісу, де формуються лісостани як природного (2906,8 га), так і штучного (2055,2 га) походження. Найбільші площі охоплюють смерекові деревоستاني в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини (1268,5 га) та деревоستاني за переважання ялини європейської в умовах вологої смереково-букової суяличини (767,2 га). Окрім цього, в умовах лісництва ялинові деревоستاني ростуть у вологих суборових (574,3 га) та грудових (643,9 га) умовах. Також виділено ялинові лісостани на трьох ділянках площею 7,6 га в умовах свіжої буково-смерекової суяличини.

За даними лісовпорядкування, ялинові лісостани в умовах лісництва формуються на висотах 800-1525 м н.р.м. Зокрема, лісостани вологої буково-ялицевої сушмеречини посідають висоти 800-1400 м, а лісостани вологої буково-смерекової суяличини – 800-1300 м н.р.м.

Досліджувані ялинові лісостани характеризуються такими середніми лісівничо-таксаційними показниками: вік – 64,7 років, відносна повнота – 0,67, середній запас – $325 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$. На невеликих площах формуються мішані лісостани за незначної частки ялини у складі. Так, в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини деревоستاني за частки ялини в 5 од. та менше ростуть на площі 98,4 га, а в умовах вологої смереково-букової суяличини – на площі 82,5 га; за частки ялини в 7 од. та менше – 315,1 та 233,9 га відповідно. Також в умовах смереково-букової суяличини на площі 9,3 га ростуть ялицеві деревоستاني без участі ялини у складі.

Орографічні характеристики місць розташування ялинових лісостанів та частка головного деревного виду в їхньому складі часто є вирішальним чинником стійкості таких деревостанів до негативних біотичних (шкідники та

захворювання) і кліматичних (вітровали та вітроломи) факторів (Гриник, 2011а). Характер зміни запасів досліджуваних лісостанів та їхній зв'язок з віком деревостанів, часткою ялини у складі та орографічними характеристиками простежимо за використання парних зв'язків та множинної кореляції.

В умовах типів лісу C_3 -бк-яцСм та C_3 -см-бкЯц наявні запаси стовбурової деревини у лісостанах відзначаються значною варіабельністю, особливо у середньовікових та пристиглих деревостанах (рис. 1, 2). Так, в умовах сушмеречини у 26-30-річному віці розмах запасів становить 80-150, а в 56-60-річних деревостанах – 270-530 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$. В умовах суяличини варіабельність за запасом деревини у цьому ж віковому діапазоні

ще вища – 50-160 та 110-580 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ відповідно. Такий значний розмах запасів корелює з відносною повнотою деревостанів, яка у середньовікових лісостанах змінюється в межах 0,3-0,9.

Зазначимо, що найвищими запасами характеризуються середньовікові деревостани, зокрема, в умовах C_3 -бк-яцСм найбільший запас зафіксовано на рівні 650 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, а в умовах C_3 -см-бкЯц – 580 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$. В умовах вологої сушмеречини найвищі запаси деревини притаманні віковому діапазоні 60-110 років із середнім значенням 400-420 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$, хоча і в цьому віковому проміжку варіабельність за показником запасу доволі висока. Остання зумовлена комплексною дією біотичних та антропогенних чинників.

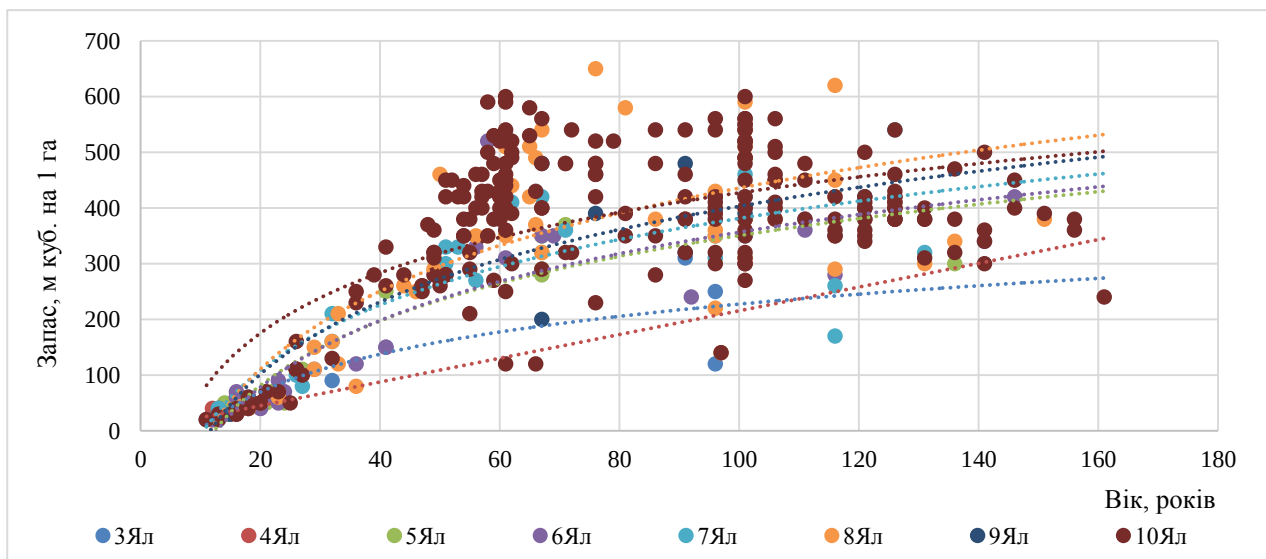


Рис. 1. Зміна запасу деревини у лісостанах у зв'язку з віком і часткою *Picea abies* (L.) Karst. у складі в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 1. Changes in growing stock volume of forest stands in relation to age and the share of *Picea abies* (L.) Karst. in the composition under moist beech-fir-spruce forest conditions

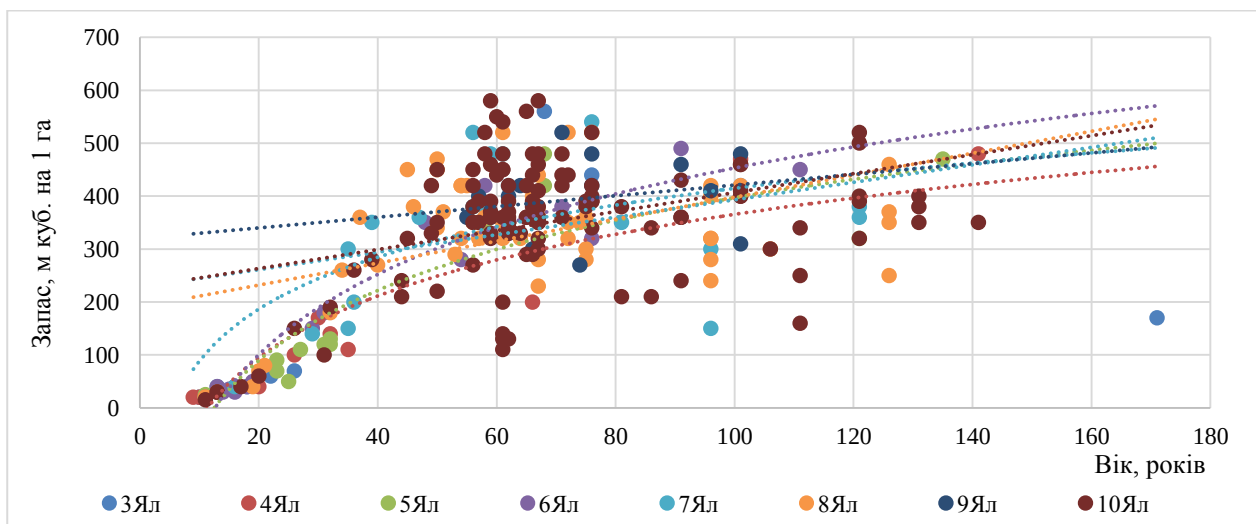


Рис. 2. Зміна запасу деревини у лісостанах у зв'язку з віком і часткою *Picea abies* (L.) Karst. у складі в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 2. Changes in growing stock volume of forest stands in relation to age and the share of *Picea abies* (L.) Karst. in the composition under moist spruce-beech-fir forest conditions

В умовах суяulichини середні запаси деревини ($380-400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) спостережено у віці 55-70 років, після чого показник помітно знижується. Зниження показника запасу корелює зі зниженням повноти деревостанів, що зумовлено як лісогосподарськими заходами, так і пониженням біотичної стійкості середньовікових ялиників в ялицевих типах лісу.

За наведеними даними (див. рис. 1, 2) можна стверджувати, що в обох аналізованих типах лісу переважають практично чисті ялинові деревостани, де частка породи у складі становить 8-10 од. Частка насаджень, де участь ялини становить 3-5 од., є найменшою.

За результатами досліджень, зв'язок між продуктивністю деревостанів та часткою ялини в їх складі, не простежено. Найімовірніше, така ситуація пов'язана з проведенням лісогосподарських заходів різної інтенсивності, зокрема з вибиранням ялини зі складу деревостану.

Здійснені лісогосподарські заходи різної інтенсивності та спрямування стали причиною формування лісостанів за переваги в їхньому складі ялини європейської. Так, чисті ялинові чи за незначної (до 5%) домішки супутніх деревних видів насаджень в умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ ростуть на площі 709,6 га, тобто на 55%, а в умовах $C_3\text{-см-бкЯц}$ – на площі 263 га, що становить понад 34% площ насаджень за переваги ялини європейської.

Деревостани за перевагою ялини у складі мають як штучне, так і природне походження. Ялину європейську, як цінний деревний вид, в

умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ у більшості випадків вводили чистою культурою, сподіваючись на наступне природне поновлення ялиці та бука, і таким чином формування в майбутньому мішаного насадження. Навіть якщо культури створювали мішаними, то висока швидкість росту ялини у молодому віці давала їй значну перевагу перед повільнорослими буком та ялицею, внаслідок чого останні залишалися під ялиновим наметом і рідко виходили у перший ярус. Подібна ситуація характерна і для умов $C_3\text{-см-бкЯц}$, в яких ялина у молодому віці росте дуже інтенсивно, швидко формуючи зімкнутий ярус, під яким залишаються інші деревні види. Висока інтенсивність росту ялини у молодому віці, а також надання їй переваги під час створення лісових культур і зумовили значну перевагу деревного виду у складі насаджень як смерекових, так і ялицевих типів лісу.

Аналіз зміни запасу деревини у насадженнях з найвищою участю ялини засвідчує різке зростання показника до 60-річного віку, після чого варіабельність насаджень за запасом деревини суттєво зростає (рис. 3). Очевидно, основною причиною такого явища є втручання в процес формування насадження санітарними чи прохідними рубками, хоча високу продуктивність ялинові деревостани в умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ зберігають до 100-річного віку, незважаючи на практично чистий склад. Низка насаджень у віці 100-120 років мають запас понад $500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ стовбурової деревини.

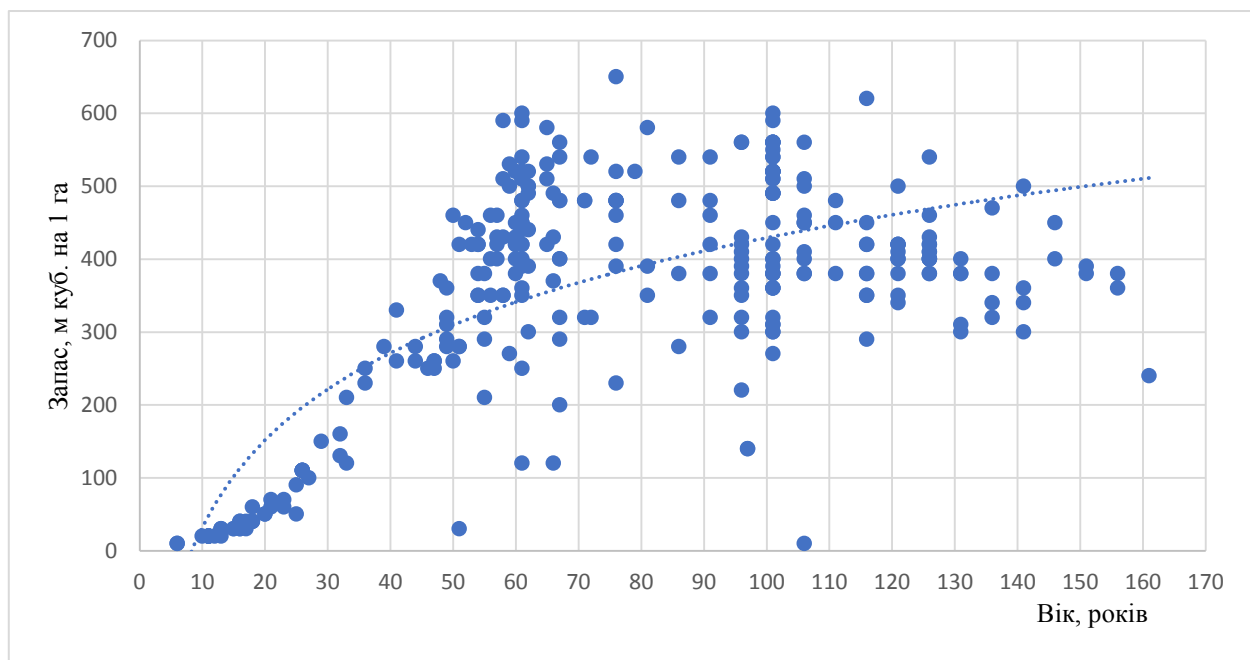


Рис. 3. Зміна запасу деревини в ялинових лісостанах (8-10 од.) у зв'язку з віком в умовах вології буково-ялицевої сушмеречини Верховинського л-ва

Fig. 3. Changes in growing stock volume of spruce forest stands (8–10 units) in relation to age under moist beech-fir-spruce forest conditions of Verkhovyna Forestry

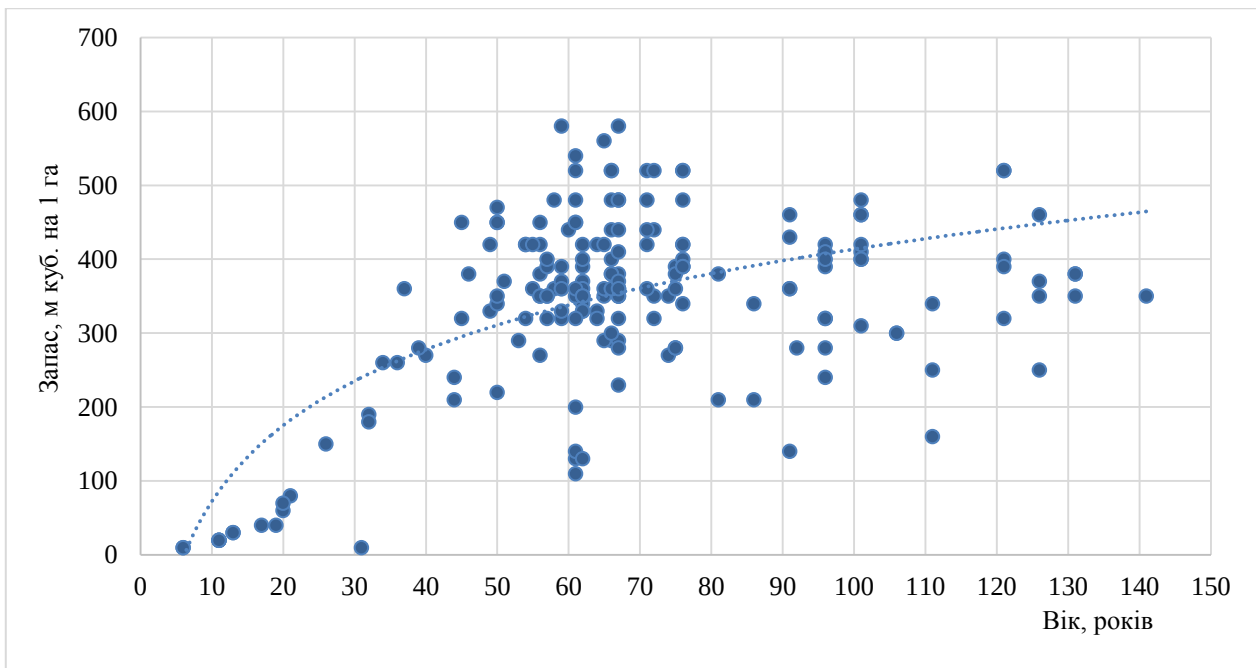


Рис. 4. Зміна запасу деревини в ялинових лісостанах (8-10 од.) у зв'язку з віком в умовах вологої смереково-букової суяличини Верховинського л-ва

Fig. 4. Changes in growing stock volume of spruce forest stands (8–10 units) in relation to age under moist spruce-beech-fir forest conditions of Verkhovyna Forestry

Подібну тенденцію щодо вікового нагромадження деревини насадженнями за значної переваги у складі ялини спостережено і для умов вологої смереково-букової суяличини (рис. 4). У цьому типі лісу ялина формує похідні насадження доволі високої продуктивності, проте їхня біотична стійкість помітно нижча, ніж в умовах вологої сусмеречини. Отже, до 60-70-річного віку спостережено інтенсивне нагромадження деревного запасу, незважаючи на доволі високу варіабельність показника. Після 70 років запас деревини в ялинниках помітно зменшується, що пов'язано як з пониженням біотичної стійкості ялини, так і проведеними у зв'язку з цим лісогосподарськими заходами. Поряд з цим, навіть і в 120-130 років спостережено окремі чисті ялинники, запас деревини в яких становить 400-500 м³·га⁻¹.

Аналіз попередніх даних (див. рис. 1-4) засвідчує, що найбільша кількість чистих деревостанів та зі значною перевагою в їхньому складі ялини зосереджено у віковому діапазоні 50-80 років. У цей період ялинові насадження нагромаджують найвищі запаси деревини, тому доцільно здійснити аналіз продуктивності ялинників, пов'язавши її з орографічними чинниками.

Так, розподіл насаджень ялини в умовах *С₃-бк-яцСм* за часткою кількості ділянок і площі доволі подібний (рис. 5). На висоті 800-900 м н.р.м. зосереджено трохи більше 5% площі ялинових насаджень, на висотах 901-1000 та 1001-1100 м н.р.м. – 15-17%, на висотах 1101-

1200 м н.р.м. площа ялинових насаджень найбільша (40%). Ялинові деревостани цього типу лісу спостережено і на висоті понад 1300 м, але їхня частка за площею тут незначна (до 2%).

В умовах *С₃-см-бкЯц* частка ділянок та частка площ під ялиновим насадженнями також загалом подібні (рис. 6). Проте тут спостерігаємо відмінний розподіл ділянок і площ порівняно з попереднім типом лісу. Найбільша частка площі ялинників (37%) зосереджена значно нижче, ніж у сусмеречині (1001-1050 та 1101-1200 м н.р.м.), а підняття ялинників за висотою обмежено відміткою 1100 м, тоді як у сусмеречині деревостани ялини піднімаються на 300 м вище. Частка ялинових насаджень як за площею, так і за кількістю ділянок на висоті 1051-1100 м доволі подібна (15-16%).

Загалом на всіх діапазонах висот, окрім 800-850 та 1001-1050 м, частка ялинових насаджень як за площею (10-18%), так і за часткою ділянок (14-19%) відносно подібна. Також встановлено, що лісові культури ялини в ялицевому типі лісу створювали на ділянках меншої площі, яка в середньому становить 2,7 га, тоді як середня площа ділянок у сусмеречині складає 3,8 га.

Розташування насаджень на різній висоті над рівнем моря впливає на показник запасу деревини (рис. 7, 8). Так, у типі лісу *С₃-бк-яцСм* найнижчі запаси ялинових деревостанів спостережено на висоті 800-900 м н.р.м. (299 м³·га⁻¹). На значному діапазоні висот (901-1300 м) середні запаси ялинників доволі подібні ((420-448 м³·га⁻¹) і лише на висотах 1301-1400 м серед-

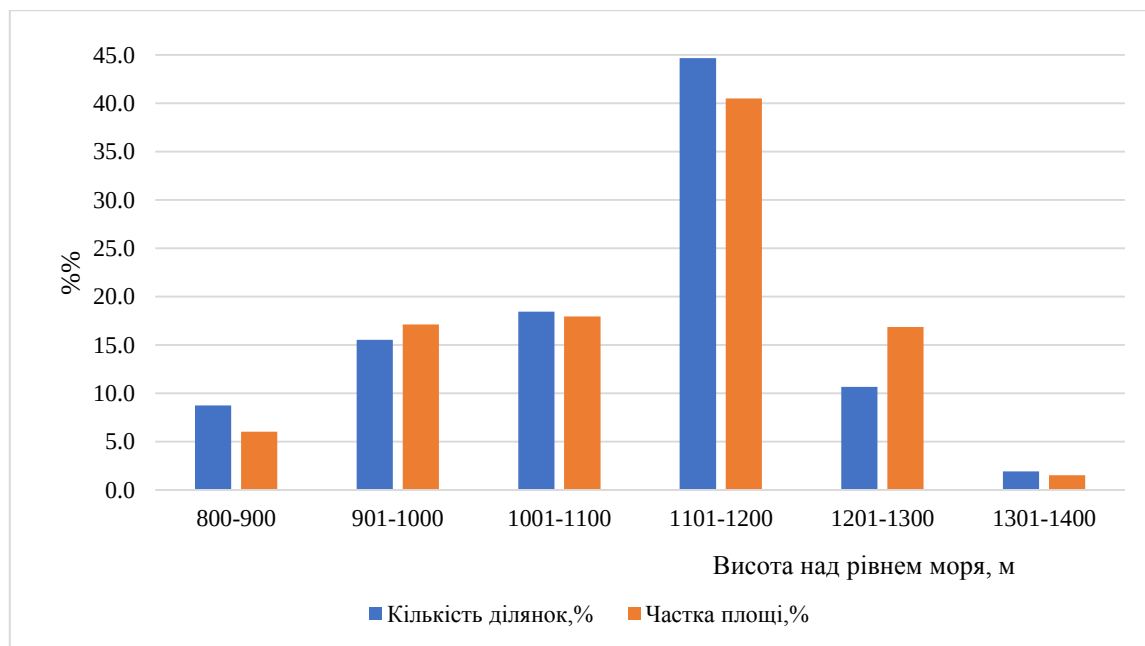


Рис. 5. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за висотою н.р.м. в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 5. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by altitude above sea level under moist beech-fir-spruce forest conditions

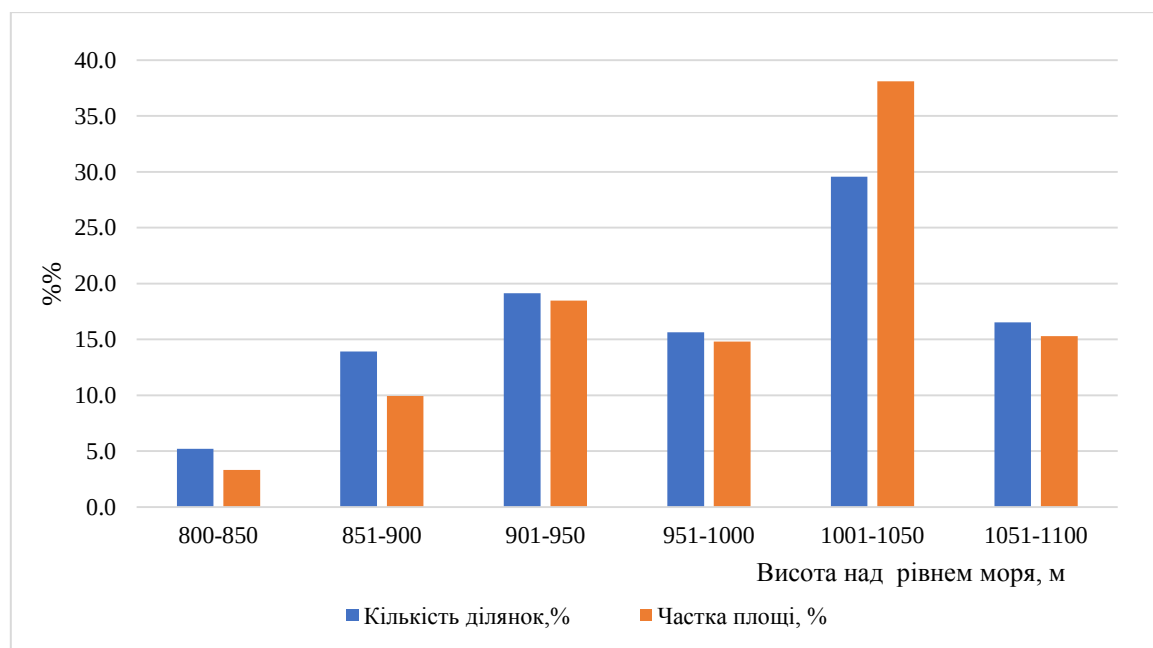


Рис. 6. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за висотою н.р.м. в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 6. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by altitude above sea level under moist spruce-beech-fir forest conditions

ній запас ялинових насаджень знижується до позначки $375 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Отже, на висотах до 900 м н.р.м. низький запас ялинових деревостанів можна пояснити впливом зміни клімату, а саме видовженням вегетаційного періоду, коротким зимовим спокоєм та періодичними посухами. У діапазоні висот 901-1300 м зміни клімату не такі відчутні, і середній запас ялинових насаджень доволі

подібний із максимальним показником ($448 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) на висоті 1101-1200 м н.р.м. На сьогодні цю висоту в умовах вологої сушмеречини можна вважати оптимальною для формування запасу ялинових деревостанів. Із збільшенням висоти над рівнем моря (помірно холодна зона) вегетаційний період скорочується, і, відповідно, знижується середній запас ялинової деревини (до 417 і $375 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

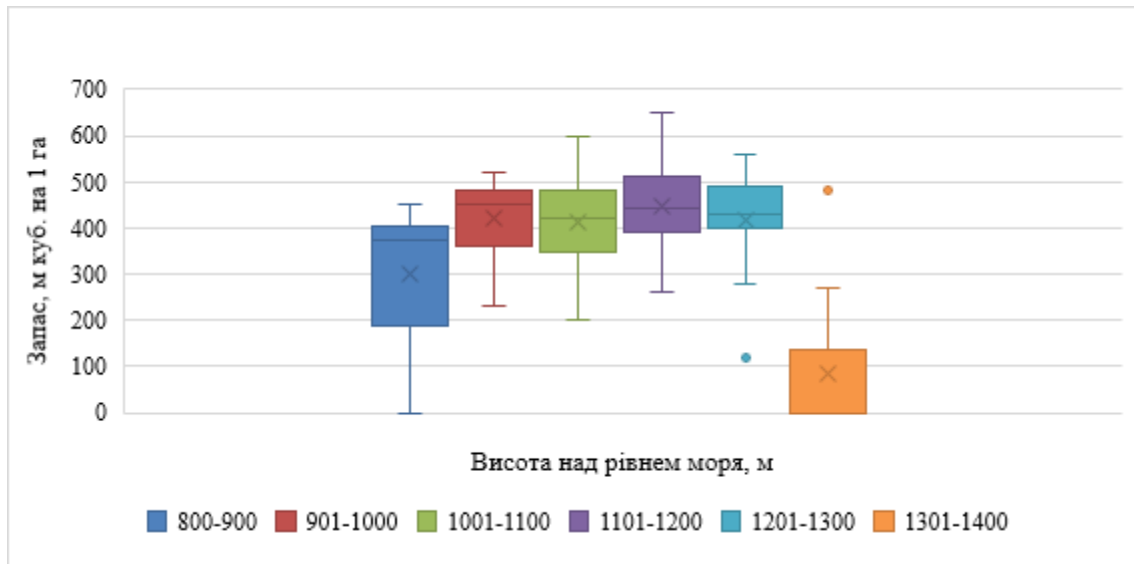


Рис. 7. Розподіл запасу деревини залежно від висоти н.р.м. у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини

Fig. 7. Distribution of growing stock volume depending on altitude above sea level in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

Отже, на низьких висотах (до 900 м) ялина в сусмеречині потерпає від кліматичного стресу (аномальне тепло, сухість повітря, брак зимового спокою). Але піднімаючись вище – до 1101-1200 м, вона потрапляє у зону оптимальних для неї термічного та гідрологічного режимів («зона комфорту»), формуючи максимальні запаси деревини.

Дещо по іншому відбувається розподіл деревного запасу зі зміною висоти над рівнем моря в умовах вологої суяличини. Як і в умовах

вологої сусмеречини, розмах за запасом доволі значний, що зумовлено антропогенним чинником, проте зміна середніх значень деревного запасу з висотою н.р.м. виявляє певну тенденцію (див. рис. 8). Так, найвищими запасами деревини в умовах суяличини відзначаються ялинники на висотах 800-900 м (435 і 408 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). Із збільшенням висоти н.р.м. (від 901 до 1100 м) середній запас деревини в ялинових насадженнях знижується, проте залишається відносно подібним (348-390 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$).

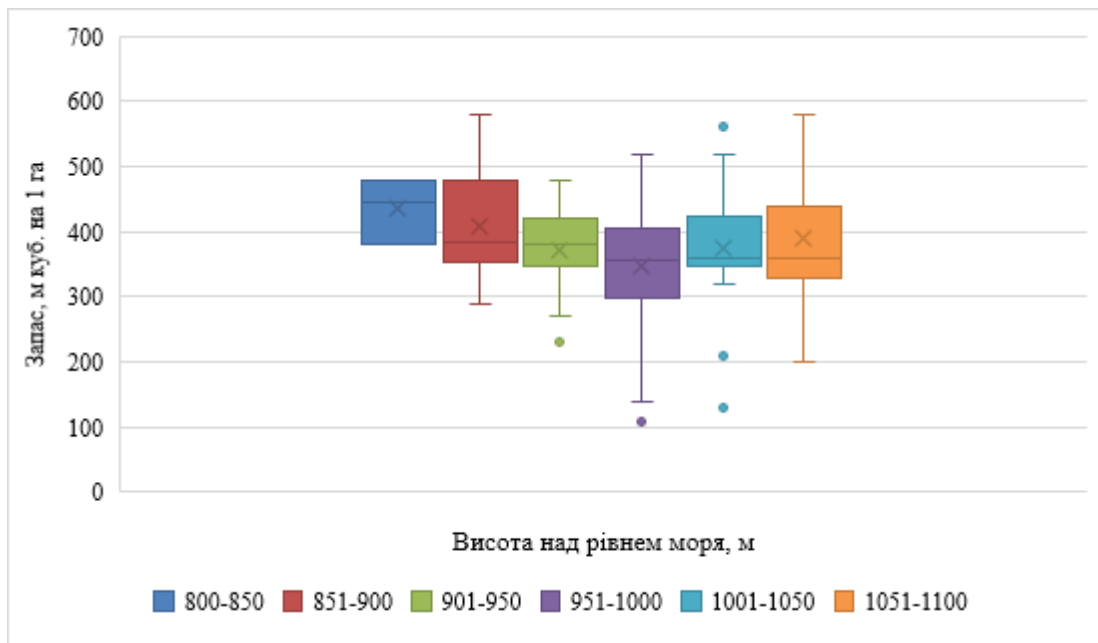


Рис. 8. Розподіл запасу деревини залежно від висоти н.р.м. у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 8. Distribution of growing stock volume depending on altitude above sea level in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

Такий специфічний розподіл запасу ялинових насаджень в суяличині можна пояснити, тим, що на висоті 800-900 м н.р.м. складаються оптимальні умови для росту бука та ялиці – висока вологість ґрунту і повітря, вища трофність ґрунту, ніж у сусмєречинах. Штучно висаджена тут ялина демонструє у молодому віці дуже високу енергію росту, нагромаджуючи високі запаси деревини. На висоті понад 900 м у суяличинах клімат стає прохолоднішим, але ґрунти залишаються родючими – ідеально придатними для росту бука та ялиці. Похідна ялина вступає в сильні конкурентні відносини з аборигенними породами – ялицею та буком, поступово втрачаючи біотичну стійкість.

Таким чином, вектор динаміки запасу ялинових деревостанів у досліджуваних типах лісу має протилежну спрямованість: якщо в умовах вологої сусмєречини з підйомом у гори (до 1200 м) спостерігається екологічна оптимізація середовища для корінної ялини та зростання її продуктивності, то в умовах вологої суяличини підйом вище 900 м призводить до екологічного стресу похідних ялинників, посилення конкурентного тиску з боку корінних

деревних видів та регресу стовбурових запасів. Окрім цього, значну роль у цьому процесі відіграє антропогенний чинник.

Окрім висоти н.р.м., певний вплив на нагромадження запасу ялинової деревини має експозиція схилів, яка у гірських умовах Карпат є потужним екологічним мікрокліматичним чинником. Саме від експозиції схилу залежить перерозподіл двох основних ресурсів, від яких залежить фотосинтез і ріст дерева – сонячної радіації (тепла) і вологи. Для ялини європейської, як вологолюбного деревного виду, чинник вологи часто стає вирішальним.

Розподіл ялинових насаджень за експозицією схилу має свої особливості (рис. 9). Так, в умовах вологої буково-ялицевої сусмєречини найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах вологої смереково-букової суяличини значна частина ділянок тяжіє до північного та північно-західного схилів (загалом 32%). Така специфіка може бути зумовлена переважним формуванням ялицевих типів лісу на схилах північної експозиції, де наявні висока вологість повітря і ґрунту.

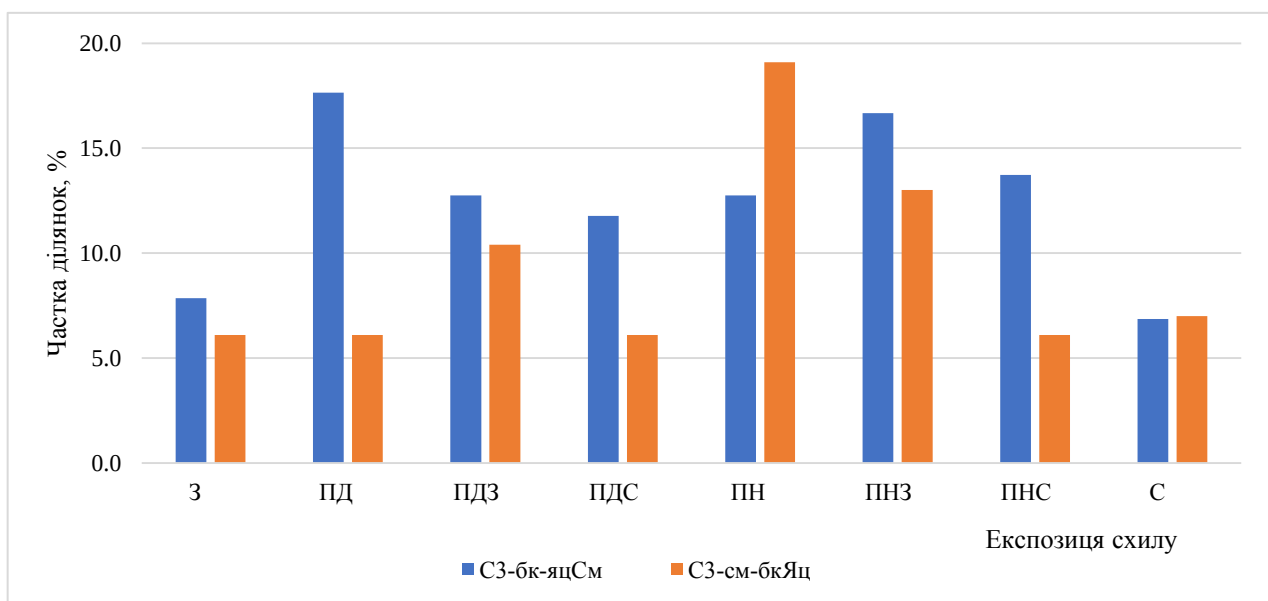


Рис. 9. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за експозицією схилів у досліджуваних типах лісу

Fig. 9. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by slope aspect in the studied forest types

Розподіл запасу ялинових насаджень у досліджуваних типах лісу на схилах різних експозицій різниться між собою (рис. 10, 11). В обох випадках спостережено значну варіабельність показника за запасом, що може бути зумовлено впливом як абіотичного, так і антропогенного чинників. Варіабельність за деревним запасом на схилах різних експозицій вища в умовах ялицевого типу лісу.

Так, в умовах *С3-бк-яцСм* за середнім показником найвищі запаси деревини ($483 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) ялина формує на північних схилах, дещо менші – на південно-східних та південно-західних (454 і $430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). На схилах інших експозицій середні показники деревного запасу помітно менші, хоча й доволі подібні (402 – $413 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

В умовах *С3-см-бкЯц* найвищі запаси деревини формують ялинники, приурочені до

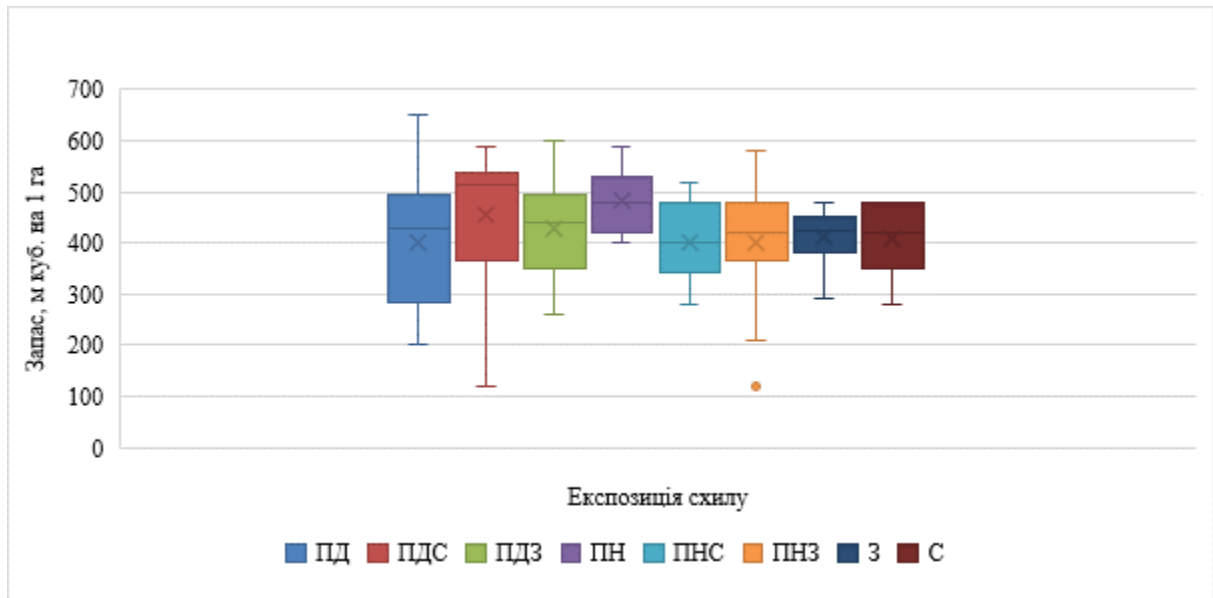


Рис. 10. Розподіл запасу деревини залежно від експозиції схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 10. Distribution of growing stock volume depending on slope aspect in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

північних, північно-східних і північно-західних схилів – $389\text{--}412\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ (див. рис. 11). На схилах інших експозицій ялина формує дещо нижчі запаси деревини ($344\text{--}380\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), а найнижчі

деревні запаси встановлено на західних ($309\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) та південно-західних ($282\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) схилах. Значна варіабельність запасів, вірогідно, зумовлена антропогенним чинником.

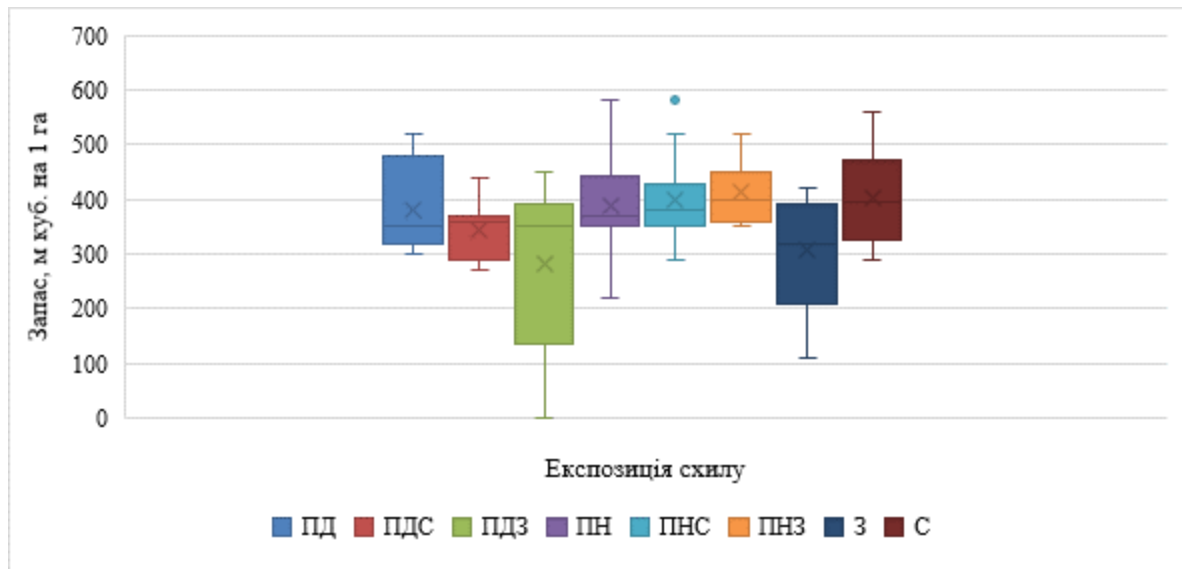


Рис. 11. Розподіл запасу деревини залежно від експозиції схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 11. Distribution of growing stock volume depending on slope aspect in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

Варто зауважити, що запаси деревини на схилах різних експозицій є вищими в умовах вологої сушмеречини ($402\text{--}483\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), тоді як у вологій суяличині вони є помітно нижчими ($282\text{--}412\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). На нашу думку, така відмінність зумовлена втратою ялиною біотичної стійкості після досягнення певної вікової межі. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність проведення

інтенсивних лісогосподарських заходів, які й виступають основною причиною зниження стовбурових запасів.

Отже, експозиція схилів виступає визначальним мікрокліматичним чинником диференціації продуктивності ялиників у досліджуваних типах лісу. Спільною закономірністю для вологої сушмеречини та вологої суяличини є

формування максимальних запасів деревини на схилах північної експозиції (у межах $389-483 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), де стабільніший гідротермічний режим нівелює кліматичний стрес. Натомість найбільш критичне зниження деревного запасу (до $282-309 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) зафіксовано на інсольованих південно-західних та західних схилах суяличин, що є прямим наслідком антропогенного втручання і втрати насаджень біотичної стійкості.

На відміну від розподілу частки ялинових лісостанів на схилах різних експозицій в аналізованих типах лісу, у розподілі насаджень за стрімкістю схилів помітних відмінностей не спостережено (рис. 12). Найбільша кількість ділянок у сушмеречині і суяличині приурочена до схилів стрімкістю $20-25^\circ$ (53 і 55%). Дещо менша кількість ділянок розташована на схилах стрімкістю 30° (18 і 19%) і найменша – на схилах 35° (6 і 3%).

Найвищою варіабельністю запасів відзначаються ялинові деревостани в обох типах лісу на схилах стрімкістю 20 і 25° , де частка насаджень найбільша (рис. 13, 14). Поряд з цим, на схилах стрімкістю 20° насаджень в обох типах лісу відзначаються однаковим середнім запасом ($390 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). На схилах стрімкістю 25° середній запас ялини в сушмеречині ($439 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) помітно вищий, ніж в суяличині ($362 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). Найнижчі запаси деревини в обох типах лісу виявлено на схилах стрімкістю $10-15^\circ$ (433 і 393

та 363 і $382 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), що може бути зумовлено високою транспортною доступністю ділянок. На дуже стрімких схилах ($30-35^\circ$), де проведення лісогосподарських заходів ускладнено, середні запаси деревини є найвищими як у сушмеречині, так і в суяличині (445 і 478 та 388 і $422 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$).

Отже, просторова диференціація запасів деревини зумовлена переважно інтенсивністю лісогосподарських втручань: на доступних пологих схилах запаси найнижчі, тоді як на важкодоступних стрімких схилах ($30-35^\circ$) вони досягають максимуму. При цьому в екотопах середньої стрімкості (25°) ялина в умовах сушмеречини виявляє помітно вищу продуктивність, ніж у суяличині.

На основі аналізу розподілу площ і запасів ялинових деревостанів за різними орографічними чинниками можна зробити припущення щодо існування певної залежності між ними. Проте особливості розподілу та розмаху значень запасів у досліджуваних деревостанах в межах аналізованих орографічних чинників вказують на необхідність враховувати також і характер лісогосподарських заходів, які проявляються, насамперед, через склад деревостанів та їхні запаси у конкретному віці. Для з'ясування характеру зв'язку між запасом ялинових деревостанів залежно від висоти над рівнем моря використовуємо множинний аналіз.

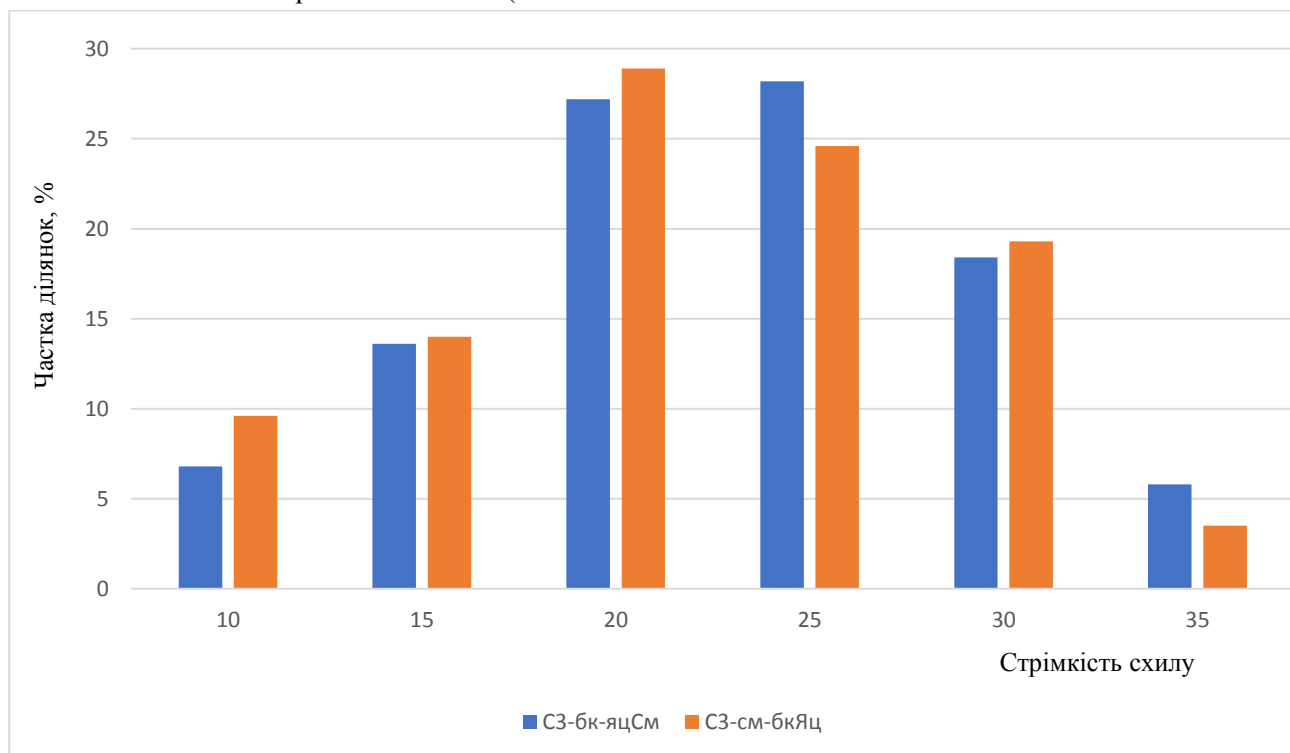


Рис. 12. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за стрімкістю схилів у досліджуваних типах лісу

Fig. 12. Distribution of 50-80-year-old Norway spruce stands (8-10 units) by slope steepness in the studied forest types

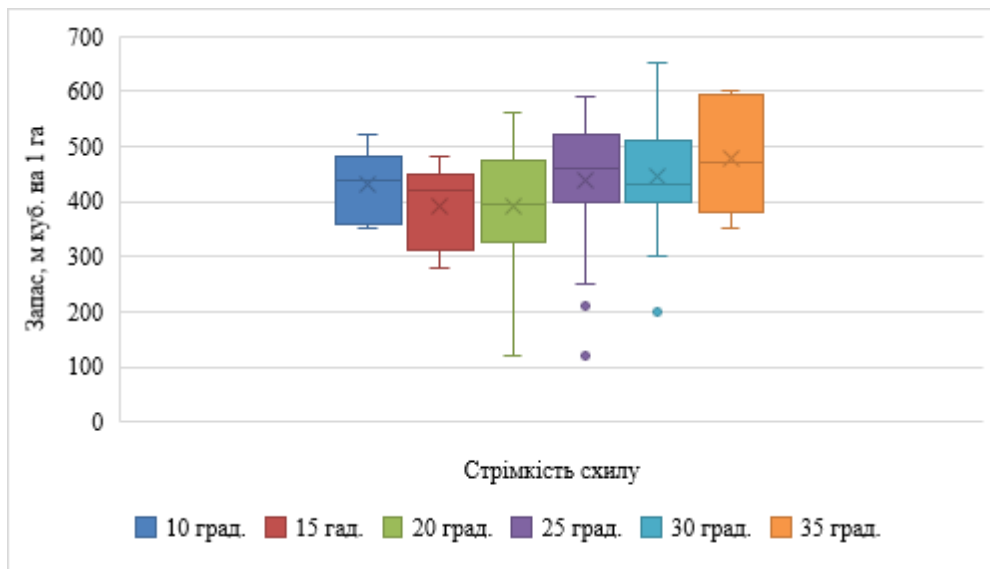


Рис. 13. Розподіл запасу деревини залежно від стрімкості схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої сусмєречини

Fig. 13. Distribution of growing stock volume depending on slope steepness in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

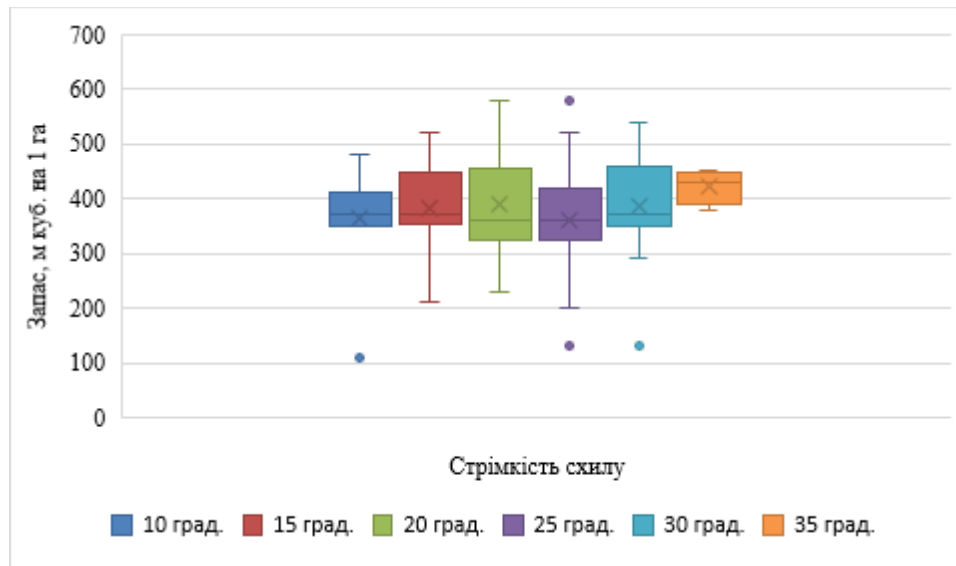


Рис. 14. Розподіл запасу деревини залежно від стрімкості схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смєреково-букової суяличини

Fig. 14. Distribution of growing stock volume depending on slope steepness in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

За даними повидільної бази таксаційної характеристики ялинових насаджень в умовах досліджуваного об'єкту виконано множинний кореляційний аналіз зв'язку запасів деревостанів з їхнім віком, часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря з диференціацією площ лісостанів і типами лісу та експозицією схилу – північною (Пн, Пнз, Пнс та З) і південною (Пд, Пдз, Пдс та С).

В умовах вологої сусмєречини простежується значної тісноти кореляційний зв'язок запасу з аналізованими ознаками, в той час як у суяличині від помірний та слабо залежить від

експозиції схилу (табл.). Найвищим значенням множинного коефіцієнта кореляції (0,638) характеризується зв'язок запасу з віком насаджень та висотою над рівнем моря у сусмєречині на північній експозиції схилу, тоді як в суяличині на північному схилі значення множинного коефіцієнта кореляції виявилось найменшим – лише 0,315. Такий низький коефіцієнт множинної кореляції свідчить про те, що в цих умовах на формування запасу суттєво впливають інші, не враховані у цій моделі фактори (наприклад, антропогенне навантаження, лісівнича історія формування насадження, санітарний стан).

Таблиця. Коефіцієнти множинної кореляції та фактори впливу на запас в ялинових деревостанах

Table. Multiple correlation coefficients and factors influencing growing stock volume in spruce stands

Експозиція схилу	Множинний коефіцієнт кореляції	Найсуттєвіший фактор	Несуттєвий фактор	Частка впливу, %	Частка впливу найсуттєвішого фактору, %
Волога буково-ялицева сушмеречина (C_3-бк-яцСм)					
північна	0,638	Вік ($b=0,422$)	–	40,7	17,8
південна	0,539	Вік ($b=0,357$)	–	29,0	13,5
Волога смереково-букова суяличина (C_3-см-бкЯц)					
північна	0,315	Частка ялини ($b=-0,24$)	-	9,9	6,3
південна	0,467	Вік ($b=-0,320$)	ВНРМ ($b_3=-0,04$)	21,8	12,8

В ялинових деревостанах вологої сушмеречини основним чинником нагромадження деревного запасу є часовий фактор. Так, на північних схилах сумарна частка впливу факторів становить 40,7%. Найсуттєвішим фактором є вік ($b = 0,422$), який одноосібно зумовлює 17,8% дисперсії запасу. Позитивне значення b -коефіцієнта є логічним – зі збільшенням віку запас до певної межі стабільно зростає. Несуттєвих факторів не виявлено.

На південних схилах загальний вплив факторів нижчий (29,0%), а зв'язок значний ($R = 0,539$). Вік залишається головним фактором ($b = 0,357$, частка впливу 13,5%). Менша сила зв'язку на південних схилах може пояснюватися гіршим забезпеченням вологою та вищою напруженістю екологічних чинників на схилах південної експозиції.

В ялинових деревостанах вологої суяличини, порівняно з попереднім варіантом, виявлено зовсім інші тенденції, що може вказувати на дестабілізацію структури насаджень. Так, на північних схилах модель описує лише 9,9% змін запасу. Проте ключовим чинником тут стає не вік, а частка ялини в складі ($b = -0,24$) із внеском 6,3%. Від'ємне значення коефіцієнта ($b = -0,24$) вказує на те, що зі збільшенням частки ялини в складі цих похідних деревостанів їхній запас зменшується. Цей аспект є важливим науковим підтвердженням втрати продуктивності та біологічної стійкості чистих похідних ялиників на північних схилах.

На південних схилах модель працює краще (частка впливу 21,8%, $R = 0,467$). Найсуттєвішим

фактором є вік, але з від'ємним знаком ($b = -0,320$, частка впливу 12,8%). Зменшення запасу з віком у похідних ялиниках на південних схилах є класичним маркером передчасного розпаду та всихання штучно створених або змінених ялинових лісостанів на теплих експозиціях через кліматичний стрес. Окрім того, зафіксовано несуттєвий фактор – висоту над рівнем моря ($b_3 = -0,04$).

Таким чином, експозиція схилу виступає потужним модифікатором мікроклімату. Так, в умовах C_3 -бк-яцСм перехід від північних схилів до південних дещо послаблює роль віку (від $b = 0,422$ до $b = 0,357$) та загальну детермінацію моделі, оскільки на південних схилах підсилюється фактор гідротермічного стресу.

В умовах C_3 -см-бкЯц експозиція схилу повністю змінює вектор головного чинника. На північних схилах лімітуючим є сам склад деревостанів (значна участь ялини у складі), тоді як на південних схилах критичною стає вікова межа, за яким починається деградація насаджень (від'ємний вплив віку).

Наведені на рис. 15 та 16 параболічні моделі зв'язку запасів деревостанів з їх віком, часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря показують усереднений тренд зміни запасу деревини зі зміною двох аналізованих факторів.

Моделі можуть бути використані для прогнозування нагромадження запасів у корінних та похідних ялинових деревостанах, які ростуть на різних висотах над рівнем моря та експозиціях схилів під час планування лісгосподарських заходів для підвищення їхньої продуктивності.

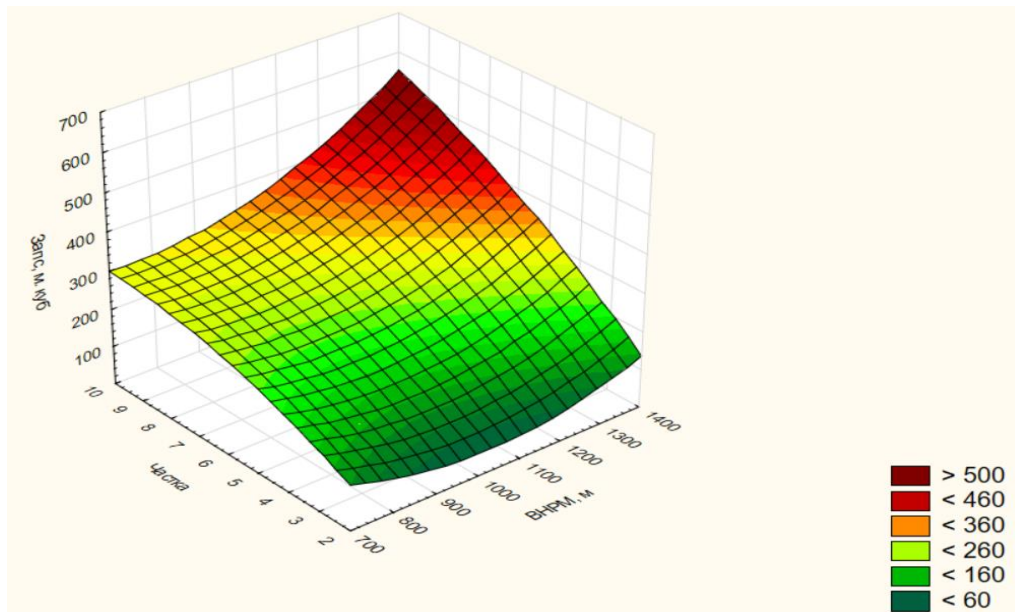


Рис. 15. Модель зв'язку запасу ялинових деревостанів в умовах вологої буково-ялицевої сусперечини на північній експозиції схилу з часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря

Fig. 15. Model of the relationship between growing stock volume of spruce stands under moist beech-spruce forest conditions on northern slope aspects, and the share of spruce in the composition and altitude above sea level

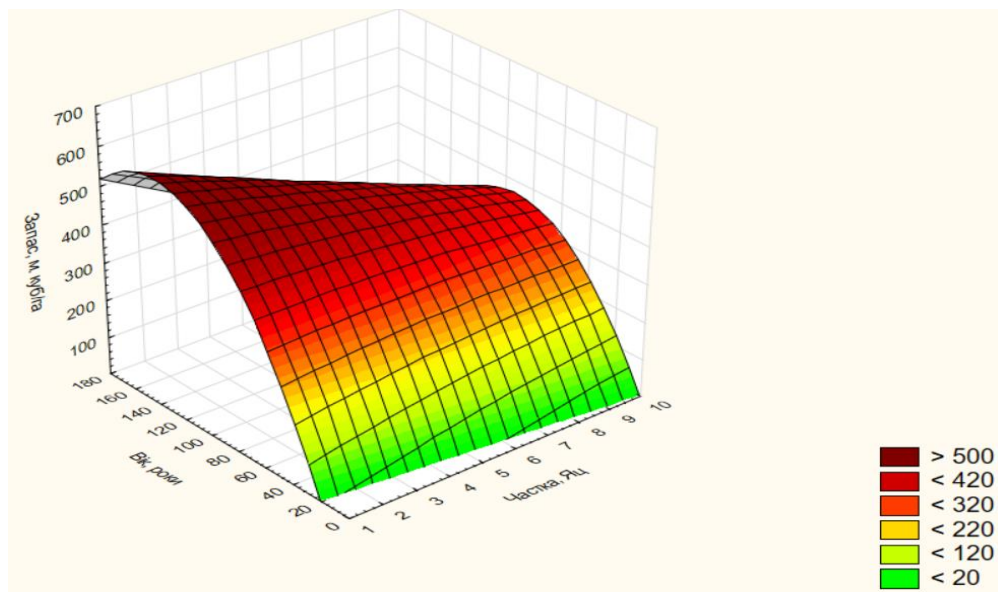


Рис. 16. Модель зв'язку запасу ялинових деревостанів в умовах вологої смереково-букової суяличини на південній експозиції схилу з часткою ялини у складі та віком

Fig. 16. Model of the relationship between growing stock volume of spruce stands under moist spruce-beech-fir forest conditions on southern slope aspects, and the share of spruce in the composition and age

Дискусія (Discussion).

За даними Лавного, Пелюх (2019), загальна площа похідних ялиників на території Українських Карпат становить 126678,1 га із загальним запасом деревини 43032,5 тис. м³. Найбільшу площу похідні ялинові деревостани займають на території Івано-Франківської обл. – 60514,8 га (47,8% від загальної площі похідних ялинових деревостанів), тоді як площа корінних ялицевих деревостанів у цій же області (Гриник, 2011а) в 4,8 рази менша (12530,5 га).

Похідні ялинові деревостани на території Українських Карпат найчастіше трапляються у вологій смереково-буковій суяличині, де їхня площа становить 47537,3 га (37,5% від загальної площі похідних ялинових деревостанів). Значна площа похідних ялиників зосереджена також у вологій смереково-буковій яличині – 17761,2 га (14,0%) (Лавний, 2007).

Незважаючи на пониження біотичної стійкості деревостанів *Picea abies*, площа лісостанів за її участю та запас деревини в

Українських Карпатах продовжують збільшуватися. Так, станом на 05.2010 р. ліси за участю ялини європейської в Івано-Франківській обл. займали загальну площу 229885,4 га із загальним запасом деревини 74,9 млн м^3 (Слободян, 2010). Середній запас стовбурової деревини при цьому становив 326 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Площа ялинників у 17 смерекових типах лісу становила 173954,3 га.

За новішими даними станом на 01.2018 р. (Лавний, Матушевич, 2023), загальна площа ялинових лісостанів на території Івано-Франківської обл. становила вже 258 тис. га, з яких 131,2 тис. га посідали середньовікові деревостани. Загальний запас ялинових деревостанів становив 94,9 млн м^3 , а середній запас стовбурової деревини – 368 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Отже, впродовж восьми років зростання ялинових деревостанів за площею склало майже 11%, за запасом – 13%. На фоні всихання ялинових лісостанів, вилучення їх із букових та ялицевих типів лісу, збільшення площ і запасів ялинників не повинно би відбуватися. Отримані дані можуть бути зумовлені, насамперед, продовженням культивування ялинових насаджень не лише в смерекових, але й в інших типах лісу. Вірогідно також, що на значних площах ялицевих типів лісу *Picea abies* могла відновитися природним шляхом і зайняти домінуюче положення у складі молодих лісостанів.

Корінні ялинові деревостани Українських Карпат характеризуються високими таксаційними показниками, проте на їхню величину істотно впливають лісогосподарські заходи (Король, Вицега, 2006). Тому важливим аспектом є створення математичних моделей, які адекватно оцінювали би зміни показників деревостану залежно від проведення доглядових рубань за лісом.

За розробленою моделлю прогнозу росту ялинових деревостанів I^a класу бонітету в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини (Лавний, Матушевич, 2023), у віці 100 років вони матимуть такі таксаційні показники: $H_c = 33,4$ м, $D_c = 39,8$ см, $G = 41,2$ м^2 , $N = 331$ шт./га, $M = 652$ $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Середня зміна запасу (без урахування відпаду) у віці 100 років за переважаючої відносної повноти 0,7 у вологій буково-ялицевій сушмеречині становить 6,6 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за рік. Для нормальних деревостанів з відотною повнотою 1,0 вона може досягати щорічно 9,4 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ у типі лісу *С₃-бк-яцСм*.

За результатами наших досліджень, фактичні середні запаси деревостанів 100-річного віку в цьому ж типі лісу помітно менші і залежать від участі ялини у складі: 8-10Ял – 400-420; 7Ял – 390; 6Ял – 360 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Основними чинниками пониження стовбурового запасу деревини є

зміни клімату та пов'язане з цим проведення санітарних заходів, а також звичайна лісгосподарська діяльність. При цьому основним компонентом формування стовбурового запасу залишається ялина європейська: чим більше її в складі, тим більший запас деревостану. Поряд з цим, чисті ялинники є менш біотично стійкі та менш довговічні, ніж мішані (Крамарець, Криницький, 2009; Дебринюк, 2011; Крамарець, Мацях, 2018).

За останніми даними (Форгіль, Дебринюк, 2025), ялинники Івано-Франківської обл. ростуть в 11-ти ялицевих типах лісу, формуючи тут похідні насадження. Найпоширенішим з них є волога смереково-букова суяличина (74,2% від площі ялицевих типів лісу). Найвищі запаси деревини встановлено в умовах вологих букової та смерекової суяличин (відповідно, 430 і 444 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Аналіз таксаційних показників похідних ялинових деревостанів Українських Карпат засвідчив критичний стан цих лісових екосистем та їхні негативні наслідки для ведення лісового господарства підприємствами регіону (Лавний, Пелюх 2019). Поряд з цим автори зазначають, що незважаючи на деградацію ялинових лісостанів в Українських Карпатах у зв'язку зі зміною клімату, насамперед похідних ялинників, останні все ж відзначаються доволі високою продуктивністю – середній запас похідних ялинників на території Івано-Франківської обл. становить 340 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Найбільшу площу займають деревостани I класу бонітету – 89631 га або 70,8% від загальної площі похідних ялинових деревостанів. Високу продуктивність похідних ялинників в ялицевих типах лісу Карпатського регіону відзначали також Парпан та ін. (2014): 43% площі займають ялинові деревостани вище I класу бонітету, 40% – I класу бонітету, і лише 14% характеризуються II класом бонітету.

Аналіз результатів 10-річних стаціонарних досліджень похідного ялинника в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини Українських Карпат (Шпарик, Парпан, 2020) засвідчили, що без втручання людини відбувається зменшення частки ялини у видовому складі; формування значних запасів мертвої лежачої деревини; розвиток підросту, який формує другий і третій яруси деревостану; заміна *Picea abies*, як домінантного деревного виду, на інші види.

Крамарець, Криницький (2009) з метою забезпечення промислових потреб необхідною деревною продукцією пропонують на місці всихаючих ялинників запроваджувати плантаційне лісовирощування. На думку Парпана та ін. (2014), лісгосподарські заходи повинні бути спрямовані на заміну та відновлення існуючих

пошкоджених ялинових деревостанів новими, більш різновидовими та складнішими за структурою лісовими угрупованнями. Певною мірою ця позиція співпадає із рекомендацією інших дослідників використати ялицеві типи лісу для обмеженого культивування плантаційних лісових насаджень ялини європейської впродовж обмеженого періоду часу на принципах породозміни (Криницький, Крамарець, 2009; Дебрюнюк та ін., 2013; Debrynyuk, 2017; Форгіль, 2026).

Певний вплив на продуктивність ялиників та біотичну стійкість ялини має висота над рівнем моря. Найбільші площі ялинових лісовостанів в Українських Карпатах зосереджені на висотах від 900 до 1100 м н.р.м. – 48,3% (Миклуш та ін., 2024). Оскільки високопродуктивні ялинові деревостани в умовах сушмеречини та суяличин ростуть на різних висотах н.р.м., Гриник (2012) запропонував здійснити поділ деревостанів за висотними групами для встановлення відмінностей за показником продуктивності: I група – діапазон 300-800 м, II група – 801-1099 м, III група – 1100-1600 м н.р.м.

На нашу думку, такий розподіл є не зовсім раціональним, оскільки в групу III об'єднано ділянки, де продуктивність ялини найвища (1000-1200 м н.р.м.) та ділянки, де ялина європейська внаслідок ґрунтово-кліматичних умов не може бути високопродуктивним деревним видом (1400-1600 м н.р.м.). За результатами наших досліджень, в умовах *С₃-бк-яцСм* середні запаси 50-80-річних ялиників на висотах 800-900 м н.р.м. становлять близько 300 м³·га⁻¹, 901-1100 м – 410-429, 1101-1200 – 450, 1201-1300 м н.р.м. – 420 м³·га⁻¹ із наступним зниженням запасу зі збільшенням висоти над рівнем моря.

Окрім висоти на рівнем моря, не менше значення на продуктивність ялини мають експозиція та стрімкість схилів. У роботі Гриника (2011) наведено детальну характеристику таксаційних показників ялини за різними віковими групами у зв'язку з часткою ялини у складі деревостану та експозицією схилу. Звертає на себе увагу значна варіабельність показників, що, на нашу думку, може бути пов'язано зі значним антропогенним втручанням у ріст і розвиток деревостанів. Подібна позиція щодо продуктивності ялиників полягає в тому, що екологічний оптимум для формування високих запасів зміщений у бік північних напрямів. Водночас ялинові насадження на південно-західних та західних схилах характеризуються помітним регресом продуктивності.

Щодо продуктивності ялини в умовах вологої сушмеречини, то нами спостережено тенденцію

збільшення цього показника зі зростанням стрімкості схилу (20° – 390, 25° – 440, 30° – 445, 35° – 480 м³·га⁻¹), що може бути пов'язано із логістичними аспектами. Подібні дослідження здійснив Гриник (2011) для ялицевих деревостанів, розташованих на південних, південно-східних, північно-західних, східних та західних експозиціях схилів з висотою 801-1099 м н.р.м. Ним встановлено, що спільним є кращий ріст та розвиток ялицевих деревостанів за стрімкості схилу в 11-50°, а особливо – на ділянках північних експозицій зі стрімкістю схилів до 26°. Наведений автором значний діапазон стрімкості схилів (11-50°) не дає змоги здійснити детальний порівняльний аналіз.

Обґрунтування стратегії формування лісів за участю ялини європейської повинно здійснюватися з урахуванням існуючої тенденції зміни кліматичного режиму (Дебрюнюк, 2011; Лавний, Пелюх, 2019; Олійник, Зейналян, 2020; Зейналян, Олійник, 2021). Зниження біотичної стійкості ялини в останні десятиріччя пов'язано не лише з культивуванням деревного виду в букових та ялицевих типах лісу, але й з негативними наслідками зміни клімату. Результати впливу клімату на продуктивність і стійкість ялинових лісів дискутується у численних роботах (Криницький, Крамарець, 2009; Jäger, 2020; Rimal et al., 2022; Tahvonena et al., 2010; Шпарик, Парпан, 2020). Hlásny et al. (2017) дійшли висновку, що вторинні ялинові ліси є дуже вразливими і що розроблені системи захисту не змогли відчутно зменшити шкоду ялиновим лісам, стабілізувати їхній санітарний стан і виробництво лісу. Albrich et al. (2020) застерігають щодо високих очікувань стосовно пом'якшення зміни клімату під впливом лісу. Такі очікування можуть бути не виправданими, оскільки позитивний екологічний вплив може бути розтягнутим у значному часовому масштабі.

Поряд з цим дещо раніше (Стойко, 2011) було зазначено, що окрім негативних наслідків впливу на лісовий біом, зміни клімату можуть виявляти і позитивні аспекти на функціонування лісових екосистем. Зокрема, скорочення термінів періодичності плодоношення, збільшення врожайності деревних порід та покращення їхньої репродуктивної здатності; можливість збагачення лісів теплолюбними аборигенними й інтродукованими видами; збільшення приросту деревних видів та продуктивності деревостанів внаслідок збільшення тривалості вегетаційного періоду; прискорення ренатуралізації зниженої верхньої межі лісів і покращення їх водо- та ґрунтозахисної ролі. Безумовно, впродовж останніх 15 років частина цих позитивних

аспектів добре проявилась, проте не відбулось покращення репродуктивної здатності деревних рослин, а також помітного збільшення деревних приростів, насамперед, внаслідок погіршення режиму зволоження, збільшення сухості повітря та ґрунту, прояву періодичних сильних посух.

У напрямі забезпечення промислових потреб цінною ялиновою деревиною істотного значення набуває заміна похідних ялиників та створення на їхньому місці деревостанів інших деревних видів. Як важливий елемент такої заміни може бути тимчасове вирощування на місці розладнаного ялинового насадження швидко-рослих та біотично стійких деревних видів (*Larix decidua*, *Larix Kaempferi*, *Pseudotsuga menziesii* тощо), що дасть змогу зменшити інфекційний фон (зокрема запас збудників кореневих гнилей), знизити активність фітогельмінтів та оптимізувати нематодний комплекс ґрунту (Крамарець, Криницький, 2009). Для забезпечення відносно швидкого отримання деревної продукції, на місці похідних ялиників доцільно впроваджувати плантаційне лісовирощування із використанням різних швидко-рослих, високопродуктивних та біотично стійких деревних видів.

Здійснений аналіз продуктивності ялини у смерековому та ялицевому типах лісу засвідчує, що серед деревостанів, подібних за лісівничо-таксаційними (тип лісу, вік, склад) та орографічними (висота н.р.м., стрімкість та експозиція схилу) характеристиками, показник продуктивності відзначається значною варіабельністю. На нашу думку, основна причина полягає у веденні різнопланової господарської діяльності в ялинових деревостанах. Інша причина може полягати в тому, що на частині ділянок ростуть автохтонні ялинові лісостани із місцевих стійких і найпродуктивніших екотипів, розповсюдження яких в Карпатському регіоні на сьогодні є обмеженим.

У Карпатському регіоні і на цей час наявні значні площі чистих ялиників – як у смерекових, так і в ялицевих типах лісу з повною відсутністю або недостатньою участю характерних кліматичних домішок. Їхня продуктивність і стійкість відзначаються значною варіабельністю, яка залежить не лише від дії абіотичних чинників, але й значною мірою від антропогенного впливу.

У впливі різних чинників на стан ялинових деревостанів існує кумулятивний ефект – дисбаланс в одній із ланок стає причиною незворотної руйнації консортних зв'язків та підсилення негативної дії абіотичних чинників біотичними та антропогенними.

Результати досліджень підтверджують, що найпродуктивнішими в ялицевих типах лісу є

чисті ялиники, але вони мають значний недолік – понижено біотичну стійкість. Водночас чисті ялиники у яличинах та суяличинах нагромаджують за відносно короткий період часу значні обсяги деревини і саме в цих умовах можна створювати штучні насадження ялини з коротким оборотом рубки (Яцик та ін., 1994; Дебринюк та ін., 2013; Форгіль, 2026). Обмежений період культивування забезпечить достатньо високу стійкість ялини європейської та нагромадження промислових обсягів стовбурової деревини.

Висновки (Conclusions).

1. Ялина європейська в умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини за частки у деревостані у 8-10 од. відзначається доволі високою продуктивністю, нагромаджуючи у віці 100-120 років понад $500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ стовбурової деревини. Максимальних запасів ялинові деревостани досягають у віці 60-80 років – понад $600 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

2. В умовах вологої смереково-букової суяличини ялина за високої участі в складі деревостану максимальні запаси формує у віці 60-70 років – близько $600 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Зі збільшенням віку насаджень запаси деревостанів знижуються, насамперед через втрату ялиною біотичної стійкості. Поряд з цим, окремі насадження ялини можуть залишатися продуктивними ($400\text{-}500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і у віці понад 120 років.

3. В умовах вологої сусмеречини найбільше ділянок – як за кількістю так і за площею зосереджено на висоті 1101-1200 м, в умовах вологої суяличини – на висоті 1001-1050 м н.р.м. Ялинові деревостани в сусмеречині піднімаються до висоти 1301-1400 м, в суяличині – лише до висоти 1051-1100 м н.р.м.

4. Вектор динаміки запасу ялинових деревостанів у досліджуваних типах лісу має протилежну спрямованість: якщо в умовах вологої сусмеречини з підйомом у гори (до 1200 м) спостерігається екологічна оптимізація середовища для корінної ялини та зростання її продуктивності, то в умовах вологої суяличини підйом вище 900 м призводить до екологічного стресу похідних ялиників, посилення конкурентного тиску з боку корінних порід та регресу стовбурових запасів. Окрім цього, значну роль в цьому процесі відіграє антропогенний чинник.

5. В умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах вологої смереково-букової суяличини значна частина ділянок (32%) тяжіє до північного та північно-західного схилів.

6. Екологічний оптимум для формування високих запасів ялинової деревини у вологих

сусмеречинах і суяличинах зміщений у бік тіньових схилів (насамперед північного). Водночас насадження на південно-західних та західних схилах характеризуються суттєвим регресом продуктивності. Цей спад є мінімальним у корінних умовах сусмеречини ($430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і стає критичним у похідних ялинниках суяличини ($282 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), що вказує на синергетичний ефект кліматичного та антропогенного пресингу.

7. Запаси деревини на схилах різних експозицій є вищими в умовах вологої сусмеречини ($402\text{--}483 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), тоді як у вологій суяличині вони є помітно нижчими ($282\text{--}412 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Така диференціація може бути зумовлена втратою ялиною біотичної стійкості після досягнення певної вікової межі. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність проведення інтенсивних лісогосподарських заходів, які й виступають основною причиною зниження стовбурових запасів.

8. Стрімкість схилів виступає регулятором антропогенного пресингу: через високу транспортну доступність пологих екотопів ($10\text{--}15^\circ$) запаси ялинників у них є мінімальними, тоді як обмеження господарської діяльності на дуже

стрімких схилах ($30\text{--}35^\circ$) забезпечує збереження максимального деревного запасу в обох типах лісу.

9. Математичні моделі зв'язку між таксаційними характеристиками ялинових деревостанів та орографічними чинниками є значно адекватнішими для буково-ялицевих сусмеречин ($R = 0,54\text{--}0,64$), ніж для смереково-букових суяличин ($R = 0,32\text{--}0,47$). У деревостанах вологої сусмеречини динаміка запасу є природною та висхідною – визначальним є позитивний вплив фактору віку. У деревостанах вологої суяличини виявлено деструктивні процеси: на північних схилах збільшення частки ялини призводить до зниження запасу ($b = -0,24$), а на південних схилах спостережено регрес запасу за збільшення віку насаджень ($b = -0,320$), що свідчить про їхню втрату стійкості та передчасний розпад.

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)

- Albrich K, Rammer W., & Seidl R (2020). Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology*, 26(7), 4013–4027. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2007). Rules for improving the qualitative composition of forests. (Decree No. 724). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/724-2007-%D0%BF#Text> [Правила поліпшення якісного складу лісів: затв. постановою Кабінету Міністрів України 12.05.2007 р., №724] (in Ukrainian)
- Chernevyy, Yu. I., Savchyn, A. I., Danyliv, V. S., & Tretyak, P. R. (2011). Growth of old age trees of European spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) at mountain tree line in Gorgany Mts. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 62–69. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/index.htm [Черневий, Ю. І., Савчин, А. І., Данилів, В. С., Третяк, П. Р. (2011). Особливості росту старовікових дерев ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karst.) біля верхньої межі лісу в Горганах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(13), 62–69] (in Ukrainian)
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Die-bak of the fir forests: causes and consequences. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(16), 32–38. http://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/index.htm [Дебринюк, Ю. М. (2011). Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 32–38] (in Ukrainian)
- Debrynyuk, Yu. M. (2017). Plantation Forestry and energy plantations in Ukraine: resource potential and development prospects. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(8), 45–51. <https://doi.org/10.15421/40270806>
- Debryniuk, Iu. M., Forgil, Ya. S., & Liesnik, V. V. (2013). Spruce as an object of plantation forestry in fir forest types of Ivano-Frankivsk region. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(5), 168–175. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/index.htm [Дебринюк Ю. М., Форгіль Я. С., Лєсник В. В. (2013). Ялина як об'єкт плантаційного лісовирощування в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(5), 168–175] (in Ukrainian)
- Forgil, Ya. (2026). Forestry and mensurational characteristics of stands with *Picea abies* (L.) Karst. in the fir types of forest in the Ivano-Frankivsk region. *Forestry and Forest Melioration*, 148, 70–81. <https://doi.org/10.33220/1026->

- 3365.148.2026.70 [Форгіль, Я. С. (2026). Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів із участю *Picea abies* (L.) Karst. в ялицевих типах лісу Івано-Франківської області. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 148, 70–81] (in Ukrainian)
- Forgil, Ya., & Debryniuk, Iu. (2025). Distribution of *Picea abies*-Containing Forest Stands in Silver Fir Forest Types of Ivano-Frankivsk Region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 162–175. <https://doi.org/10.36930/412529> [Форгіль, Я. С., Дебрінюк, Ю. М. Поширення лісостанів за участю *Picea abies* (L.) Karst. в ялицевих типах лісу Івано-Франківської області. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 162–175] (in Ukrainian)
- Herushynskyy, Z. Y. (1996). *Typology of Forests in the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramida [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Hlásny T., Trombik, J., Bošela, M., Merganič, J., Marušák, R., Šebeň, V., ... Trnka, M. (2017). Climatic drivers of forest productivity in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234–235(15), 258–273. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.024>
- Hrynyk, G. G. (2011). Forestry and assessment features and dynamics of composition of mountain spruces forests stands in Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(15), 41–56. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_15/index.htm [Гриник, Г. Г. (2011). Лісівничо-таксаційні особливості та динаміка складу гірських ялиників Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(15), 41–56] (in Ukrainian)
- Hrynyk, G. G. (2011a). Forestry and taxonomic characteristics of fir stands of the Ukrainian Carpathians taking into account the features of the relief. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 17–28. 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)
- Hrynyk, G. G. (2012). To modeling of basic taxation indexes of modal forests stands of spruces in Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22(13), 13–20. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_13/13_Hry.pdf [Гриник, Г. Г. (2012). Моделювання основних таксаційних показників модальних деревостанів ялини європейської в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(13), 13–20] (in Ukrainian)
- Jäger, S. (2020). *Stand Structure in a Heterogeneous Old-growth Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.) Forest in Northern Sweden*. Master of Science thesis. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Geovetarcentrum / Earth Science Centre. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/67002>
- Keeton, W. S., Chernyavskyy, M., Gratzner, G., Main- Knorn, M., Shpylchak, M., & Bihun, Y. (2010). Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 144(1), 148–159. <https://doi.org/10.1080/11263500903560512>
- Korol, M. M., & Vytseha, R. R. (2006). Growth model of spruce stands of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 16(3), 14–18. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_3/index.htm. [Король, М. М., Вицера, Р. Р. (2006). Моделі росту смерекового деревостану. *Науковий вісник НЛТУ України*, 16(3), 14–18] (in Ukrainian)
- Kramarets, V. A., & Krynytskyy, H. T. (2009). Assessment and possible threats to the survival of the spruce forests of the Carpathians in connection with climate change. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 19(15), 38–50. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_15/index.htm [Крамарець, В. О., Криницький, Г. Т. (2009). Оцінка стану та ймовірних загроз виживанню ялинових лісів Карпат у зв'язку із змінами клімату. *Науковий вісник НЛТУ України*, 19(15), 38–50] (in Ukrainian)
- Kramarets, V., & Matsiakh, I. (2018). The role of biotic factors in spruce decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 121–132. <https://doi.org/10.15421/411827> [Крамарець, В. О., Мацях, І. П. (2018). Роль біотичних чинників у всиханні ялиників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 121–132] (in Ukrainian)
- Krynytskyy, H. T., & Kramarets V. O. (2009). System of forestry measures on elimination of consequences of mass decline of spruce stands in beech-fir forests of Carpathians. *Forestry*

- and Forest Melioration*, 115, 256–260. <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/18/115-pdf> [Криницький, Г. Т., Крамарець, В. О. (2009). Система лісівничих заходів щодо ліквідації наслідків масового всихання ялиників у буково-ялицевих типах лісу Карпат. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 256–260] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V. V. (2007). The impact of orographic and forestry factors on windthrows and windfalls in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 17(3), 48–53. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2007/17_3/index.htm [Лавний, В. В. (2007). Вплив орографічних і лісівничих факторів на вітровали лісу в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 17(3), 48–53] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., & Matuskevych, O. (2023). The dynamics of mensurational indicators of spruce stands on the north-eastern macroslope of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 98–112. <https://doi.org/10.15421/412307> [Лавний, В. В., Матусевич, О. Б. (2023). Динаміка таксаційних показників ялинових деревостанів на північно-східному макросхилі Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 98–112] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., & Pelyukh, O. (2019). Distribution and analysis of the state of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 60–67. <https://doi.org/10.15421/411927> [Лавний, В. В., Пелюх, О. Р. (2019). Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 60–67] (in Ukrainian)
- Losyuk, V., Pohribnyi, O., Tomych, M., Chaskovskyi, O., Vandzhurak, P., & Debryniuk, I. (2021). State and structure of the natural spruce forests in the Pokuttia Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 52–67. <https://doi.org/10.15421/412104> [Лосюк, В. П., Погрібний, О. О., Томич, М. В., Часковський, О. Г., Ванджурак, П. І., Дебринюк, Ю. М. (2021). Стан і структура природних ялинових лісів Покутських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 52–67] (in Ukrainian)
- Mamchych, T., Olenko, A., Osypchuk, M., & Shportiuk, V. (2006). *Statistical data analysis with the STATISTICA package*. Drohobych: Vidrozhennia. [Мамчич, Т., Оленко, А., Осипчук, М., Шпортюк, В. (2006). *Статистичний аналіз даних з пакетом STATISTICA*. Дрогобич: Відродження. 208 с.] (in Ukrainian)
- Matuskevych, O. B. (2022). Silvicultural characteristics and taxation indices of spruce stands on the north-east macroslope of the Ukrainian Carpathians in main forest types. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 32(5), 28–35. <https://doi.org/10.36930/40320504> [Матусевич, О. Б. (2022). Лісівнича характеристика і таксаційна оцінка ялинових деревостанів північно-східного макросхилу Українських Карпат у панівних типах лісу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(5), 28–35] (in Ukrainian)
- Molotkov, P. I., & Fedets, I. F. (1966). Forest-vegetation zoning of the Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 7, 3–11. [Молотков, П. І., Федець, І. Ф. (1966). Лесорастительное районирование Украинских Карпат. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 7, 3–11 (in Russian)
- Myklush, S. I., Chaskovskyi, O. H., Lavnyy, V. V., Myklush, Yu. S., & Havryliuk, S. A. (2015). *Silvicultural-taxational and phytocoenotic structure of primeval forests of the Ukrainian Carpathians as a model for organizing ecologically oriented forestry. Practical recommendations*. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Миклуш, С. І., Часковський, О. Г., Лавний, В. В., Миклуш, Ю. С., Гаврилюк, С. А. (2015). *Лісівничо-таксаційна та фітоценотична структура пралісів Українських Карпат як модель організації екологічно орієнтованого лісівництва. Практичні рекомендації*. Львів: РВВ НЛТУ України. 16 с.] (in Ukrainian)
- Myklush, S., Myklush, Y., Khomiuk, P., & Debryniuk, I. (2024). Silvicultural and inventory characteristics of natural spruce forest stands in the moist beech-fir fairly fertile spruce forest type of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 120–134. <https://doi.org/10.15421/412409> [Миклуш, С. І., Миклуш, Ю. С., Хоміюк, П. Г., Дебринюк, Ю. М. (2024). Лісівничо-таксаційна характеристика природних ялинових деревостанів вологої буково-ялицевої сушмеречини Українських Карпат. *Наукові*

- праці Лісівничої акад. наук України, 26, 120–135] (in Ukrainian)
- Oliynyk, V. S., & Zeinalian, A. M. (2020). Altitude features of spruce decline on the north-eastern megaslope of Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 136, 19–24. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.19> [Олійник, В. С., Зейналян, А. М. (2020). Висотно-поясні особливості всихання ялиників на північно-східному мегасхилі Українських Карпат. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 136, 19–24] (in Ukrainian)
- Parpan, V., Shparyk, Y., Slobodyan, P., Parpan, T., Korshov, V., Brodovich, R., ... Cheban, I. (2014). Forest management peculiarities in secondary norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 20–29. <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/127> [Парпан, В. І, Шпарик, Ю. С., Слободян, П. Я., Парпан, Т. В., Коржов, В. Л., Бродович, Р. І., ... Чебан, І. Д. (2014). Особливості ведення лісового господарства в похідних ялиниках Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 12, 20–28] (in Ukrainian)
- Pelyukh, O., Zahvoyska, L., Maksymiv, L., & Paletto, A. (2019). Stakeholders' interests and roles in the context of secondary Norway spruce forest conversion: Ukrainian Carpathians case study. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 12(1), 59–72. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.5>
- Rimal, S., Djahangard, M., & Yousefpour, R. (2022). Forest Management under Climate Change: A Decision Analysis of Thinning Interventions for Water Services and Biomass in a Norway Spruce Stand in South Germany. *Land*, 11, 446. <https://doi.org/10.3390/land11030446>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. [Electronic resource]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF#n11> (accessed 02.02.2025) [Санітарні правила в лісах України (2016). Затв. Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства від 26.10.2016 № 756 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п>] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. S. (2019). Empirical approaches to forecasting area and wood volume of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forests in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(3), 18–22. <https://doi.org/10.15421/40290303>. [Шпарик, Ю. С. (2019). Емпіричні підходи до прогнозування площі та запасу ялинових (*Picea abies* (L.) Karst.) лісів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(3), 18–22] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. S., & Parpan, T. V. (2020). Trends of spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians: Case study in the wet mezotrophic common beech – silver fir – Norway spruce forest type. *Forestry and Forest Melioration*, 136, 37–45. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.37> [Шпарик, Ю. С., Парпан, Т. В. (2020). Тенденції всихання ялиників Українських Карпат на прикладі вологої буково-ялицевої сусмеречини. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 136, 37–45] (in Ukrainian)
- Slobodyan, P. Ya. (2012). Conditions of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22(10), 45–50. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_10/index.htm [Слободян, П. Я. (2012). Проблеми похідних ялиників Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(10), 45–50] (in Ukrainian)
- Slobodyan, P. Ya. (2010). Substantiation of necessity of increase of the areas of radical fir groves of the Ivano-Frankivsk area. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20(9), 51–55. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_9/index.htm [Слободян, П. Я. (2010). Обґрунтування необхідності збільшення площ корінних ялиників Івано-Франківської області. *Науковий вісник НЛТУ України*, 20(9), 51–55] (in Ukrainian)
- Stojko, S. (2011). Global climate changes impact on the forest ecosystems in the Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 9, 21–29. <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/360> [Стойко, С. М. (2011). Вплив глобальної зміни клімату на лісові формації Карпат *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 9, 21–28] (in Ukrainian)
- Tahvonena, O., Pukkala, T., Laihoc, O., Lähde, E., & Niinimäki, S. (2010). Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.006>

- Trotsiuk, V., Svoboda, M., Janda, P., Mikolas, M., Bace, R., Rejzek, J., ... Myklush, S. (2014). A mixed severity disturbance regime in the primary *Picea abies* (L.) Karst. forests in Ukrainian Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 334, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.005>
- Yatsyk, R. M., Brodovych, R. I., & Havrusevych, A. M. (1994). Ways to increase the productivity of Carpathian forests. In *Proceedings of the 46th Scientific and Technical Conference* (pp. 268–269). Lviv, Ukraine: Ukrainian State Forestry Engineering University [Яцик, Р. М., Бродович, Р. І., Гаврусевич, А. М. (1994). Шляхи підвищення продуктивності карпатських лісів. Матеріали 46-ої наук.-техн. конференції. Український державний лісотехнічний університет, 12-13 грудня 1994 р. Львів: УкрДЛТУ, 1994. С. 268-269] (in Ukrainian)
- Vytseha, R. R; & Hrynyk, H. H. (2004). The taxation structure of spruce forest stands on diameter. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 14(4), 53–58. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_4/index_14_4.htm [Вицєга, Р. Р., Гриник, Г. Г. (2004) Таксаційна будова смерекових деревостанів за діаметром. *Науковий вісник НЛТУ України*, 14(4), 53–58] (in Ukrainian)
- Zeinalian, A. M., & Oliinyk, V. S. (2021). Influence of meteorological phenomena on resilience of Gorgan spruce forests in the Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 139, 3–9. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.139.2021.3> [Зейналян, А. М., Олійник, В. С. (2021). Вплив метеорологічних явищ на стійкість ялиників Горган в Українських Карпатах. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 139, 3–9] (in Ukrainian)

The influence of silvicultural, inventory, and orographic factors on the formation of growing stock in spruce forest stands of the Pokut-Marmaros Carpathians

Ya. Forgil¹, Yu. Myklush²

Picea abies (L.) Karst. is one of the promising tree species for obtaining significant growing stock, not only in spruce forest types but also in fir forest types. Therefore, this tree species was widely cultivated in the fir forest types of the Ivano-Frankivsk region, often resulting in the creation of pure spruce stands. The Verkhovyna Forestry of the Verkhovyna Higher Forestry, whose forest fund is characteristic of the Pokuttya-Marmaros Carpathians, was selected as the base object for the research.

Under the conditions of a moist spruce-beech-fir forest type, Norway spruce –with a high share in the stand composition – forms its maximum growing stock at the age of 60-70 years, reaching approximately 600 m³·ha⁻¹. As the age of the stands increases, their volume declines, primarily due to the loss of biotic resistance in spruce. Along with this, certain spruce stands can remain productive (400-

500 m³·ha⁻¹) even at the age of over 120 years.

Under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type, the largest number of plots – both by count and area – is concentrated at an altitude of 1101-1200 m above sea level, while under the conditions of the moist spruce-beech-fir forest type, it is at 1001-1050 m a.s.l. In the moist beech-fir-spruce forest type, the highest proportion of plots (47%) is concentrated on southern, northwestern, and northeastern slopes. In the moist spruce-beech-fir forest type, a significant share of plots (32%) tends toward northern and northwestern slopes.

The vector of growing stock dynamics for spruce stands in the studied forest types demonstrates opposite directions. While under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type, ascending the mountains (up to 1200 m) leads to environmental optimization for native spruce and an increase in its productivity, under the conditions of

¹ Yaroslav Forgil – PhD student at the Department of Forest Cultures and Forest Tree-breeding, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: Yaroslav.Forgil@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2236-1793>

² Yuriy Myklush – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Technological University of the Shannon, Athlone Campus, University Road, Athlone, Co. Westmeath, Ireland. E-mail: yuriy.myklush@tus.ie ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-1045>

the moist spruce-beech-fir forest type, ascending above 900 m results in environmental stress for derivative spruce stands, increased competitive pressure from native tree species, and a decline in stem volume. Furthermore, the anthropogenic factor plays a significant role in this process.

The ecological optimum for the formation of high growing stock of spruce wood in moist beech-fir-spruce and spruce-beech-fir forest types is shifted toward shaded aspects (primarily northern). Concurrently, stands on southwestern and western slopes are characterized by a significant decline in productivity. This decrease is minimal under the native conditions of the beech-fir-spruce forest type ($430 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and becomes critical in derivative spruce stands of the spruce-beech-fir type ($282 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). This aspect highlights the synergistic effect of climatic and anthropogenic pressures.

The growing stock on slopes of various aspects is higher under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type ($402\text{-}483 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), whereas in the moist spruce-beech-fir forest type, it is noticeably lower ($282\text{-}412 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Such differentiation may be attributed to the loss of biotic resistance in spruce after reaching a certain age threshold.

Slope steepness acts as a regulator of anthropogenic pressure. Due to the high transport accessibility of gentle ecotopes ($10\text{-}15^\circ$), the growing stock of spruce stands within them is minimal. The restriction of management activities on very steep slopes ($30\text{-}35^\circ$) ensures the preservation of the maximum timber volume in both forest types.

Mathematical models of the relationship between the inventory characteristics of spruce stands and orographic factors are significantly more adequate for the beech-fir-spruce forest types ($R = 0.54\text{-}0.64$) than for the spruce-beech-fir forest types ($R = 0.32\text{-}0.47$). In the stands of the moist beech-fir-spruce type, the growing stock dynamics is natural and upward, with the positive influence of the age factor being decisive. In the stands of the moist spruce-beech-fir type, destructive processes have been detected. On northern slopes, an increase in the share of spruce leads to a decrease in growing stock ($b = -0.24$), whereas on southern slopes, a regression of growing stock is observed with increasing stand age ($b = -0.320$), indicating their loss of resistance and premature dieback.

Key words: *Picea abies* (L.) Karst.; growing stock; stand age; share of spruce; slope aspect; slope steepness; height above sea level.