



Г. Г. Гриник<sup>1</sup>, А. І. Задорожний<sup>2</sup>, О. М. Гриник<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

<sup>2</sup> Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

## СТОВБУРОВА БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ЯЛИНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ПОЛОНІНСЬКОГО ХРЕБТА УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Для встановлення біопродуктивності змодельовано значення таких компонентів надземної фітомаси деревостанів ялини європейської, як: фітомаса стовбура, кори стовбура, гілок, кори гілок та хвої. Для цього використано відповідні залежності від середнього діаметра, висоти стовбурів та відносної повноти деревостанів щільностей досліджуваних компонентів надземної фітомаси, отримані під час проведення попередніх польових та лабораторних досліджень. Для аналізу обрано деревостани ялини європейської у типах лісорослинних умов (ТЛУ) вологий суґруд (С<sub>3</sub>) та вологий груд (D<sub>3</sub>) I класу бонітету з відносною повнотою 0,70. Встановлено, що похідні модальні ялинові деревостани в ТЛУ D<sub>3</sub> незначно переважають аналогічні в ТЛУ С<sub>3</sub> за такими таксаційними показниками деревостанів, як: середня висота (від 2,4 до 0,8 % від 10 до 100 років), середній діаметр (від 4,4 до 2,5 %), сума площ поперечного перетину (від 0,87 до 0,92 %), запас деревостану (від 1,12 до 1,32 %). Щодо компонентів надземної фітомаси дерев, яку використано для встановлення продуктивності й структури фітомаси деревостану, то в ТЛУ D<sub>3</sub> вищі значення притаманні фітомасі стовбура (від 6,8 до 10,3 %) та фітомасі стовбура у корі (від 2,7 до 6,7 %). Значення решти показників вищі у ТЛУ С<sub>3</sub>: фітомаси кори стовбура (від 19,6 до 11,3 %), фітомаси деревини гілок (від 17,8 до 14,5 %), фітомаси кори гілок (від 4,4 до 1,9 %), фітомаси хвої (від 7,7 до 11,9 %). Значення фітомаси кори стовбура у віці 10-30 років вищі в ТЛУ D<sub>3</sub>, а від 40 до 100 років – у ТЛУ С<sub>3</sub>. Встановлено, що сумарна надземна стовбурова фітомаса молодяків загалом становить 112066,8 т або 3,0 %, середньовікових деревостанів – 414551,9 т (15,4 %), пристиглих – 865447,1 т (23,4 %), стиглих – 1577981,9 т (42,8 %) та перестиглих – 565439,0 т (15,3 %). Аналізуючи динаміку частки продуктивності стовбурової фітомаси встановлено, що частка фітомаси стовбура зростає від 56,5 до 65,8 %, кори стовбура, навпаки, зменшується від 10,3 до 7,8 %, гілок – від 20,6 до 16,5 %, кори гілок – від 1,9 до 0,9 %, а хвої – від 10,7 до 8,9 %. Загальна надземна стовбурова фітомаса деревостанів ялинових деревостанів на досліджуваній території становить 3691025,2 т, зокрема найбільшу частку становлять стиглі деревостани – 42,8 %. Зважаючи на нерівномірний розподіл площ деревостанів за групами віку, зі зростанням віку деревостану збільшується їх відносна частка у загальній продуктивності фітомаси. Найбільшу частку зокрема продуктивності надземної частини фітомаси деревостанів становить фітомаса стовбура (65,2 %), гілок (16,7 %), кори стовбура (8,1 %), хвої (9,1 %) та кора гілок (1,0 %). Найбільшу частку у структурі загальної продуктивності фітомаси ялинових деревостанів становить фітомаса стовбура. У площині груп віку вона зі збільшенням віку деревостану зростає. Аналогічно збільшується значення частки стовбура у корі від 66,8 до 73,6 %. Частка гілок у корі з віком, навпаки – зменшується від 22,5 до 17,6 %.

**Ключові слова:** фітомаса деревини стовбура; фітомаса крони; тип лісорослинних умов; середні таксаційні показники деревостану.

### Вступ / Introduction

Гірські ліси відіграють надзвичайно важливу роль та виконують низку функцій: окрім суто господарських – стокорегуляційну, кліматотвірну, вуглецедепонувальну та багато інших [13, 15]. Зважаючи на актуальні дослідження в царині вивчення впливу визначених лісівничо-таксаційних показників, ведення господарської діяльності та типологічних характеристик деревостанів на якість деревини, її морфологічну будову та фізико-механічні властивості, зокрема і на щільність, можна

дійти висновку, що значення загальної надземної фітомаси деревостанів і її компонентів також істотно залежить від цих показників [5, 6]. Разом з тим упродовж тривалого часу значну увагу науковці приділяли і моделюванню залежності біомаси від окремих лісівничо-таксаційних показників [13, 15]. Для більшої інформативності та прогнозування динаміки залежності надземної фітомаси в нашому дослідженні пропонуємо розглянути результати дослідження стовбурової біопродуктивності ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат. В основу дослідження покладено

### Інформація про авторів:

**Гриник Георгій Георгійович**, д-р с.-г. наук, професор, кафедра лісової таксації та лісовпорядкування.

Email: [h.hrynyk@nltu.edu.ua](mailto:h.hrynyk@nltu.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>

**Задорожний Андрій Іванович**, канд. с.-г. наук, ст. викладач, кафедра лісівництва. Email: [andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua](mailto:andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua);

<https://orcid.org/0000-0002-0664-5462>

**Гриник Олена Миколаївна**, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: [o.hrynyk@nltu.edu.ua](mailto:o.hrynyk@nltu.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0002-2710-6118>

**Цитування за ДСТУ:** Гриник Г. Г., Задорожний А. І., Гриник О. М. Стовбурова біопродуктивність ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 6. С. 26–34.

**Citation APA:** Hrynyk, H. H., Zadorozhnyy, A. I., & Hrynyk, O. M. (2021). The trunk bioproductivity of spruce stands of the Polonyn ridge of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(6), 26–34. <https://doi.org/10.36930/40310603>

комплексні дослідження щільності компонентів надземної фітомаси дерев ялини європейської [27, 28].

Умови навколишнього середовища, конкуренція, структура насаджень, посуха, біометричні показники дерев та діяльність людини – це фактори, які можуть впливати на властивості деревини [3, 29]. Серед цих властивостей щільність деревини вважають найважливішою через її зв'язок з іншими фізичними властивостями, такими як механічна міцність та оброблюваність [10, 17]. Щільність деревини надзвичайно мінлива в межах виду, по території ареалу та навіть у різних частинах стовбура [18]. Тип лісорослинних умов є одним із факторів, що сильно впливають на щільність деревини у деревних видів [26]. Також є підтверджені дані, що як у межах однієї і тієї самої лісової ділянки, так і в середині самого стовбура, щільність залежить від таких таксаційних ознак дерева, як висота та діаметр [17].

*Об'єкт дослідження* – особливості формування структури надземної стовбурової фітомаси ялинових деревостанів.

*Предмет дослідження* – структура фітомаси ялинових деревостанів у найпоширеніших типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат.

*Мета роботи* – встановити особливості стовбурової біопродуктивності ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: проаналізувати лісівничо-таксаційні показники деревостанів ялини європейської Полонинського хребта Українських Карпат, щоб встановити пріоритетні види для їх подальшого дослідження; дослідити особливості структури стовбурової біопродуктивності ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат на основі розроблених моделей та їхніх повидільних характеристик у досліджуваних типах лісорослинних умов.

*Наукова новизна отриманих результатів дослідження* – вперше здійснено кількісне оцінювання структури надземної стовбурової фітомаси ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат у досліджуваних типах лісорослинних умов

*Практична значущість результатів дослідження* – розроблений комплекс нормативно-довідкових матеріалів та системи математичних залежностей дає можливість перспективного та практичного застосування для вирішення низки екологічних, ресурсознавчих і виробничих галузевих проблем як у регіоні проведення дослідження, так і для Українських Карпат зокрема.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* За результатами дендрокліматичних досліджень з'ясовано, що щільність деревини дуже чутлива до зміни клімату [19]. Міцність взаємозв'язку між значеннями щільності деревини і кліматом привела до використання щільності деревини як ключового параметра для реконструкції клімату. Desoux та ін. (2004) дослідили, що щільність деревини проявляє максимальну мінливість у внутрішньокільцевій шкалі, змінюючись приблизно від 300 до 1000 кг м<sup>-3</sup> [2].

Під час дослідження фітомаси головних лісотвірних видів НПП "Вишницький" Н. В. Стратій встановив, що щільність деревини ялини європейської у корі змінюється від 298 до 387 кг·м<sup>-3</sup>. Щільність кори ялини європейської знаходиться у межах 286-388 кг·м<sup>-3</sup>. Базисна щільність деревини в корі та кора гілок вищі за відповідні показники щільностей стовбурів. Частка хвої

в деревній зелені у середньому становить 81,8%. Середній вміст абсолютно сухої речовини в 1 кг свіжої хвої ялини – 0,453 кг [24].

Польські науковці J. Szaban, W. Kowalkowski, Z. Karaszewski, M. Jakubowski. здійснили порівняння базисної щільності дерев ялини європейської семи провінцій, вирощених на експериментальній ділянці, розташованій на Лісовій експериментальній станції Семянице (Польща) [25]. Аналізи було проведено на 651 зразку, зібраному з ялинових дерев 7 провінцій. Результати показали, що деревина кожного окремого походження істотно відрізнялася за базовою щільністю. За результатами статистичного опрацювання результатів лабораторного опрацювання дослідного матеріалу встановлено, що базисна щільність деревини ялини змінюється для деревини ялини провінції з Орави в межах 306-478 кг·м<sup>-3</sup> (середнє 376 кг·м<sup>-3</sup>), з Мендзигужа – 289-455 кг·м<sup>-3</sup> (379 кг·м<sup>-3</sup>), з Нових Рамук – 312-473 кг·м<sup>-3</sup> (381 кг·м<sup>-3</sup>), з Істебна Буковца – 292-470 кг·м<sup>-3</sup> (389 кг·м<sup>-3</sup>), з Картузів – 279-597 кг·м<sup>-3</sup> (391 кг·м<sup>-3</sup>), зі Звезинця – 334-490 кг·м<sup>-3</sup> (394 кг·м<sup>-3</sup>) та зі Звезинця Любельського 338-556 кг·м<sup>-3</sup> (417 кг·м<sup>-3</sup>) [25].

За результатами дослідження Н. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, J. Kemmerer, E. Uhl дерев місцевих головних лісотвірних видів для Півдня Німеччини встановлено мінімальні, максимальні та середні значення як таксаційних ознак окремих дерев, так і значення базисної щільності. Для ялини європейської значення базисної щільності змінюються в межах 85-611 кг·м<sup>-3</sup> із середнім значенням 416 кг·м<sup>-3</sup> [21]. Загалом для дослідження вони використали 127 модельних дерев ялини із 13 пробних площ.

Дослідження зміни структури щільності ранньої та пізньої деревини, що має сильний вплив на механічні показники ялини європейської, здійснювали Ch. Lanvermann, Ph. Nass, F. K. Wittel, P. Niemi [16]. Щільність ранньої деревини становить приблизно 300 кг·м<sup>-3</sup>, а пізньої – 1000 кг·м<sup>-3</sup> для стиглої деревини. Отже, можна стверджувати, що на ці механічні показники впливає анатомічна будова деревини, яка формується під впливом комплексу умов, у яких ростуть досліджувані дерева та деревостани, а також від таксаційних ознак окремих дерев.

Великі набори даних із серійних річних кілець, відібраних у широких географічних діапазонах, використано в широкому діапазоні досліджень, наприклад, зробити висновок про мінливість клімату, реконструювати варіації потоку, дослідити процеси, що впливають на динаміку лісів [4]. Встановлено, що щільність деревини ялини європейської є різною як для кожної країни, так і для різних пробних площ у середині окремої країни: для Австрії щільність становить 365-412 кг·м<sup>-3</sup>, для Норвегії – 371-403 кг·м<sup>-3</sup>, для Литви – 315-489 кг·м<sup>-3</sup>, для Франції – 357 кг·м<sup>-3</sup>, для Швеції – 334-348 кг·м<sup>-3</sup>, для Італії – 351-361 кг·м<sup>-3</sup>, для Німеччини – 357-409 кг·м<sup>-3</sup> та для Швейцарії – 302-324 кг·м<sup>-3</sup>. Потрібно відзначити, що для теоретично гірших типів лісорослинних умов характерні нижчі значення щільності деревини ялини європейської.

Щільність деревини ялини європейської істотно залежить від класу товарності та якості деревини. Усереднене значення щільності деревини ялини у свіжозрубаному стані становить близько 512-544 кг·м<sup>-3</sup> [11]. Із під-

вищенням класу якості деревини збільшується щільність. Зазвичай, вищі значення щільності, зокрема у свіжозрубаному стані, є наслідком більшої кількості річних шарів та особливостей формування річних шарів, а також співвідношення ранньої та пізньої деревини у цих шарах [11, 19]

Переважає більшість авторів вказує на те, що значення щільності деревини ялини в абсолютно сухому стані змінюється від 315 до 575 кг·м<sup>-3</sup>. З використанням різних методик дослідження локальної щільності деревини цього деревного виду встановлено, що щільність в межах одного стовбура змінюється як у горизонтальному (в межах поперечного перетину), так і на різних відносних висотах.

Відомий німецький науковець R. Wagenführ, який досліджував деревину ялини європейської в гірських умовах, встановив, що щільність деревини в абсолютно сухому стані змінюється від 300 до 640 кг·м<sup>-3</sup>, а середнє значення для регіону дослідження становило 430 кг·м<sup>-3</sup> [25].

Підтвердження гіпотези щодо залежності щільності та інших фізичних властивостей деревини від типу лісорослинних умов, природно-кліматичних показників та від застосовуваних господарських заходів знайшло свою реалізацію у широкому та ґрунтовному дослідженні проф. Ю. М. Дебринюка, які було здійснено на межі природного ареалу поширення в умовах Прикарпаття та Західного Лісостепу у середньовікових ялинових деревостанах [1]. Також дослідник встановив, що об'ємна маса у дерев за межами ареалу є меншою на 10-15 %, порівняно із умовами Українських Карпат та Прикарпаття [22].

Дослідження фізичних та акустичних властивостей ялини європейської в Українських Карпатах здійснювали проф. І. М. Сопушинський з І. І. Харитоновом та групою дослідників [9, 22]. Вони ґрунтовно дослідили вплив висоти над рівнем моря та типів лісу на фізико-механічні показники ялинових деревостанів. За результатами аналізу динаміки об'ємної маси деревини зі збільшенням висотного градієнта від 630 м до 1190 м н.р.м. встановлено, що найвищі середні значення щільностей в абсолютно сухому стані та за відносної вологості 10 % становить відповідно 413 кг·м<sup>-3</sup> та 446 кг·м<sup>-3</sup>, які є характерними для вологої високогірної сушмеречини на абсолютній висоті 1190 м н.р.м. За результатами дослідження деревостанів ялини європейської, які зростали на різних висотах над рівнем моря – від 630 до 1190 м н.р.м. простежується збільшення щільності деревини в абсолютно сухому стані від 359 до 413 кг·м<sup>-3</sup>. Причому на висоті 350 м н.р.м. значення щільності в абсолютно сухому стані становило 356-359 кг·м<sup>-3</sup>, 800-820 м н.р.м. – 375-380 кг·м<sup>-3</sup>, для 975-1000 кг·м<sup>-3</sup> – 386-389 кг·м<sup>-3</sup> та для висотного діапазону 1190 м н.р.м. – 413 кг·м<sup>-3</sup> [22]. Статистичне опрацювання результатів дослідження показало істотну залежність відносної щільності, базисної щільності та щільності в абсолютно сухому стані від висоти над рівнем моря, а також від кількості річних шарів в 1 см деревини. Отже, можна стверджувати, що за результатами їх досліджень встановлено залежність між висотним діапазоном над рівнем моря та щільністю деревини як в абсолютно сухому стані, так і базисною щільністю.

**Матеріали та методи дослідження.** Збір дослідних даних для дослідження надземної частини фітомаси дерев і деревостанів ялини європейської на території

Полонинського хребта Українських Карпат, згідно з використаною методикою, здійснено на тимчасових пробних площах (ТПП), які закладені відповідно до загальноприйнятої лісотаксаційної методики "Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: СОУ 02.02-37-476:2006" [23]. Для оцінювання показників щільності деревини та кори стовбурів дерев на модельних деревах (МД) різних ступенів товщини випилювали зрізи деревини у корі завтовшки 2-3 см – на висоті пня, на висоті 1,3 м, а також на відносних висотах стовбура: 0,00, 0,25, 0,50 та 0,75. Відповідно, для визначення значення щільності деревини і кори гілок випилювали дослідні зрізи зі середини живих гілок різної довжини, які було вибрано з нижньої, середньої та верхньої частини крони. Для встановлення частки листя у деревній зелені та вмісту абсолютно сухої речовини вибирали зразки деревної зелені, що становило не менше трьох гілок із хвоєю з кожної частини крони.

На етапі лабораторного дослідження зрізів стовбурів і гілок крони визначали значення показників природної та базисної щільності, а також щільності в абсолютно сухому стані відповідних фракцій деревини і кори. Для цього, за запропонованою проф. П. І. Лакидою методикою [13], визначили об'єми всіх дослідних зразків, які були заготовані у польових умовах. Після виконання усіх вимірів зразки зважували для визначення їхньої маси у свіжозрубаному стані. Після цього їх висушували у сушильній шафі за температури +105 °С до абсолютно сухого стану, після чого здійснювали їх повторне зважування.

Для дослідження компонентів надземної фітомаси дерев і деревостанів ялини європейської, що ростуть на території Полонинського хребта Українських Карпат, використано експериментальні дані, зібрані під час виконання польових робіт упродовж 2006-2017 рр. за описаною вище методикою. Вік досліджуваних ялинових деревостанів на пробних площах становить від 18 до 102 років, клас бонітету – І-ІІ; відносна повнота – від 0,64 до 0,81. Для встановлення базисної щільності компонентів фітомаси стовбура відібрано і досліджено зразки із загальною площею 120 МД. Тимчасові пробні площі закладено у деревостанах, які ростуть у таких типах лісу: волога грабова бучина (6 шт.), волога чиста бучина (8 шт.), волога ялицева бучина (4 шт.), волога чиста суббучина (6 шт.), волога ялиново-ялицева суббучина (5 шт.), волога грабова суббучина (7 шт.).

## Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Під час порівняння середніх значень досліджуваних таксаційних показників і значень показників надземної частини стовбурів дерев у абсолютно сухому стані для різних типів лісорослинних умов за основну гіпотезу висунемо припущення, що різниця між ними виникла випадково. За критерій перевірки цієї гіпотези слугуватиме змінна величина

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{d}{s_d} \quad (1)$$

Для перевірки різниці між середніми значеннями окремих вибірок, утворених за результатами кластерного аналізу, на  $p$ -рівні використано  $t$ -критерій Ст'юдента. Для цього, порівнюючи середньоарифметичні  $\bar{x}_1$  та  $\bar{x}_2$  кореляційно не пов'язаних одна з одною (незалежні) ви-



бірок, взятих із різних сукупностей, вважаємо, що різниця між ними:  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d$  виникла випадково [12]. При нерівновеликих вибірках, коли  $n_1 \neq n_2$  ( $n$  – кількість дослідів або варіант) помилку різниці між вибірковими середніми ( $s_d$ ) визначають за такою формулою:

$$s_d = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}\right)}. \quad (2)$$

Нульова гіпотеза спростовується, якщо  $t_{\varphi} \geq t_{st}$ . У нашому випадку під час аналізу для більшості даних  $t_{\varphi} \geq t_{st}$ , що свідчить про наявність різниці між середніми значеннями морфологічних та таксаційних ознак дерев у вибірках в ТЛУ  $C_3$  та  $D_3$  (табл. 1) [12].

**Табл. 1. Розрахунок значущості різниці порівняння середніх значень дослідних даних модельних дерев ялини європейської в ТЛУ  $C_3$  та  $D_3$  / Calculation of significance for the comparison difference of average values for experimental data of model spruces trees in type site conditions (TSC)  $C_3$  and  $D_3$**

Показник	Вік, років	Стовбур					Крона				
		діаметр, см	висота, м	об'єм, м <sup>3</sup>	маса деревини, кг	маса кори, кг	діаметр, м	довжина, м	маса гілок, кг	маса кори гілок, кг	маса хвої, кг
ТЛУ $C_3$											
Середнє значення	59,1	25,1	19,8	0,7	261,1	24,1	5,8	9,3	52,7	6,1	49,3
Дисперсія	24,9	12,0	8,3	0,7	265,6	22,7	2,3	3,1	53,1	5,6	46,9
Варіація	42,1	47,8	41,7	102,2	101,7	93,9	39,0	33,2	100,9	92,2	95,2
Мінімальне	14,0	5,9	6,1	0,0	3,5	0,4	1,4	2,9	0,6	0,1	0,9
Максимальне	93,0	48,4	34,1	2,7	961,9	81,1	10,8	15,2	192,3	20,2	167,3
Асиметрія	-0,25	0,21	0,01	1,21	1,17	1,01	-0,19	0,04	1,15	0,98	1,04
Екссес	-1,06	-0,91	-1,11	0,68	0,55	0,13	-0,30	-0,02	0,50	0,06	0,23
Помилка середнього	3,89	1,87	1,29	0,12	41,48	3,54	0,35	0,48	8,30	0,87	7,33
Показник точності досліді	6,58	7,47	6,52	15,97	15,89	14,67	6,09	5,19	15,75	14,39	14,87
Кількість, шт.	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
ТЛУ $D_3$											
Середнє значення	57,8	25,8	21,3	0,8	298,9	25,9	6,7	8,4	64,5	6,7	44,8
Дисперсія	24,2	10,8	7,4	0,7	265,5	21,0	2,1	2,4	57,1	5,4	36,6
Варіація	41,9	41,9	34,9	88,3	88,8	81,3	31,6	28,6	88,5	79,5	81,7
Мінімальне	17,0	6,7	6,2	0,0	6,5	0,8	1,9	2,8	1,6	0,1	1,5
Максимальне	94,0	47,9	34,1	2,9	1100,9	88,7	10,1	12,7	236,4	22,6	150,1
Асиметрія	-0,24	0,20	-0,38	1,07	1,02	0,88	-0,71	-0,41	1,02	0,82	0,82
Екссес	-1,25	-0,81	-0,82	0,60	0,42	0,13	-0,47	-0,42	0,42	0,09	-0,08
Помилка середнього	2,73	1,22	0,84	0,08	29,87	2,37	0,24	0,27	6,43	0,60	4,12
Показник точності досліді	4,71	4,72	3,93	9,93	9,99	9,15	3,56	3,22	9,96	8,94	9,20
Кількість, шт.	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
<i>Обчислені значення статистичних показників гомологічності рядів</i>											
$t$	1,99	2,74	7,74	1,90	5,68	3,22	14,97	13,17	8,57	4,82	4,28
$t^*$	0,24	0,71	0,64	0,21	0,01	0,64	0,27	0,96	0,74	0,24	2,60

Для моделювання таксаційних показників використано розроблені Г. Г. Гриником рівняння математичних моделей росту ялинових деревостанів відповідних експозиційно-орографічних груп [7]. Моделювання реалізовано з аналітичного опису динаміки середньої висоти ( $H$ ), яку описано таким рівнянням:

$$H = H_B \cdot \left( \frac{A_i^{a_0 - a_1 \cdot \ln(A_i)}}{A_B^{a_0 - a_1 \cdot \ln(A_B)}} \right)^{a_2}, \quad (3)$$

де:  $H_B$  – базисна висота деревостану у віці 100 років, м;  $A_i$  – вік деревостану, років;  $A_B$  – базисний вік деревостану, 100 років.

Для моделювання відносної повноти ( $P$ ) використано таку модель:

$$P = a_0 \cdot A_i^{a_1} + a_2 \cdot H^{a_3} + a_4 \cdot H_B^{a_5}. \quad (4)$$

На основі значень середньої висоти деревостанів та оптимальної величини показника середнього збігу розраховано динаміку середнього діаметра ( $D$ ) за такою моделлю:

$$D = (a_0 + a_1 \cdot H_B) \cdot P^{a_2} \cdot H^{a_3 + a_4 \cdot H_B}. \quad (5)$$

Залежність щільності компонентів фітомаси має обернену залежність як до діаметра, так і до висоти стовбура. Вищі значення коефіцієнтів кореляції відзначено в обох досліджуваних типах лісорослиних умов для щільності деревини стовбура та щільності деревини гілок від загальної висоти стовбура. Залежність від діаметра стовбура на висоті 1,3 м є, порівняно, невисока. Зважаючи на те, що щільність компонентів фітомаси відрізняється у різних типах лісорослиних умов, а також залежить від висоти стовбура та, хоч і меншою мірою, від діаметра стовбура моделювання будемо здійснювати окремо для досліджуваних ТЛУ та для обох таксаційних показників.

Апроксимацію середнього видового числа ( $F$ ) досліджуваних деревостанів здійснено на основі моделі (6). Запаси деревостанів ( $M$ ) описано моделлю (7), а абсолютні повноти ( $G$ ) – (8):

$$F = (a_1 + a_2 \cdot H) \cdot H^{a_3} + a_4 \cdot D^{a_5}, \quad (6)$$

$$M = P \cdot (a_0 + a_1 \cdot H_B) \cdot H^{a_3 - a_4 \cdot \ln(H) - a_5 \cdot \ln(H)^2}, \quad (7)$$

$$G = (a_0 + a_1 \cdot H_B + a_2 \cdot H_B^2) \cdot (1 - e^{-a_3 \cdot H_B^{a_4 \cdot A}})^{a_5 \cdot \ln(H_B) + a_6}. \quad (8)$$

Для визначення кількості дерев ростучої частини використано значення абсолютної повноти і значення площі поперечного перетину на висоті 1,3 м для середнього значення діаметра деревостану. Коефіцієнти функції динаміки таксаційних показників модальних ялинових деревостанів наведено у табл. 2. Опрацювання дослідного матеріалу проведено сучасними методами з використанням прикладних програм MS Excel, SPSS і Statistica. Дослідні дані та їхня кількість репрезентують деревостани Українських Карпат та відповідний склад основних лісотвірних видів.

Дослідження структури та продуктивності фітомаси деревостанів є цікавим як у практичній, так і в науковій

площинах. У різні періоди дослідження цього показника мало свої методологічні та методичні особливості. Для отримання загальної інформації щодо біологічної продуктивності певного регіону чи території багато дослідників віддавали перевагу дослідженням деревостанів за зональними типами рослинності [14].

**Табл. 2. Коефіцієнти функції динаміки таксаційних показників модальних ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат / Coefficients of the dynamics function of taxonomic indicators of modal spruce stands of the Polonyn ridge of the Ukrainian Carpathians**

Індекс ТЛУ	Коефіцієнт рівняння							R <sup>2</sup>
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	
функції (3) моделей росту у висоту								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	2,697	-0,244	0,104	-	-	-	-	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	2,917	-0,266	0,103	-	-	-	-	0,95
функції (4) динаміки відносної повноти								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	-0,483	-5,416	6,846	-0,016	-6,733	-0,046	-	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-0,483	-5,416	7,064	-0,014	-6,514	-0,021	-	0,95
функції (5) моделей росту за діаметром								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	-0,187	0,009	-0,094	-0,002	79,253	-1,39	1,125	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-1,727	0,074	0,464	-0,003	136,43	-1,637	0,193	0,95
функції (6) динаміки видових чисел								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	0,456	-13,84	-50,22	1,352	-0,31	-	-	0,91
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	0,456	-13,84	-50,22	1,352	-0,31	-	-	0,91
функції (7) динаміки загального запасу								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	0,242	3,909	-0,034	1,181	0,652	0,115	-	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	0,389	11,385	0,19	-0,506	1,165	0,178	-	0,95
функції (8) динаміки абсолютної повноти								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	-59,44	5,79	-0,08	0,014	0,335	-1,325	7,049	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-19,56	2,834	-0,03	0,002	0,944	0,745	-0,084	0,95

Дослідженнями щільності компонентів надземної фітомаси стовбурів дерев ялини європейської здійснювали багато науковців. Для зручності доцільно використати значення базисної щільності, яка є універсальною і за визначенням, і за можливістю здійснити порівняння. Для порівняння звернемо увагу на найновіші та найгрунтовніші з них в регіонах дослідження близьких до того, в якому здійснено це дослідження. Значний доробок у дослідженні ялинових деревостанів належить проф. П. І. Лакиді: він комплексно опрацював практично усі головні типотвірні деревні види, зокрема і ялину європейську в Українських Карпатах [15]. Окрім цього, щільність фітомаси бука та ялини досліджували Н. В. Стратій (2016) на території НПП "Вишницький" [24]. Відповідно значення для базисної щільності деревини стовбура ялини за даними П. І. Лакиди становлять 346 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, за даними Н. В. Стратія 342 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, а за нашими даними в ТЛУ С<sub>3</sub> та D<sub>3</sub> становлять відповідно 392 та 345 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, або різниця становить відповідно 0,3, 0,9, 13,6 та 0,0 %, якщо за основу взяти показники в ТЛУ D<sub>3</sub>. Значення базисної щільності кори стовбура становлять відповідно – 299, 332, 406 та 303 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, або, порівняно із значеннями в ТЛУ D<sub>3</sub>: 98,7, 109,6, 134,0 та 100,0 %. Значення базисної щільності деревини стовбура в корі становлять відповідно 344, 342, 391 та 327 кг·(м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>, або 105,2, 104,6, 119,6 та 100,0 %. Отже, встановлено, що базисна щільність кори для ялини європейської відрізняється за даними різних дослідників найбільше. Очевидно, що різницю у результатах дослідження можна пояснити як особливістю формування анатомічної будови деревини і кори у досліджуваних регіонах та характеристикою дослідного матеріалу: у дисертаційному дослідженні було опрацьовано результати для деревостанів I класу бонітету окремо для типу лісорослинних умов С<sub>3</sub> та D<sub>3</sub>.

Комплексні дослідження складових компонентів фітомаси дерев і деревостанів дали змогу розробити математичні моделі та нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси листяних і хвойних видів на території України загалом та ялинових деревостанів Українських Карпат зокрема [14]. Виявлені особливості формування щільності деревини ялини європейської залежно від типів лісу та висоти над рівнем моря. Дослідження [22] дають підстави дійти висновку, що в гірських умовах на формування щільності деревини та, відповідно, на біологічну продуктивність деревостану істотно впливають типи лісорослинних умов, характеристики схилів гір та значення таксаційних показників дерев і деревостанів [27].

За результатами проведеного кореляційного аналізу встановлено, що найтісніше компоненти фітомаси стовбура корелюють з діаметром (0,92-0,94) та висотою (0,78-0,83) стовбура, а компоненти фітомаси крони – з висотою (0,79-0,82) та діаметром (0,89-0,92) стовбура, а також з діаметром (0,74-0,76) та об'ємом (0,79-0,84) крони. Зважаючи на значення коефіцієнтів детермінації, для опису динаміки надземної фітомаси дерев ялини європейської у модальних гірських корінних деревостанах, використано значення діаметра та висоти стовбура дерева. Значення показників фітомаси розраховано на основі щільності відповідних її фракцій в абсолютно сухому стані [27]. Значення показників фітомаси розраховано на основі щільності відповідних її фракцій в абсолютно сухому стані [т·га<sup>-1</sup>]. Таксаційні ознаки, використані вхідні параметри моделі, визначено на основі кореляційного аналізу [27].

Отримані математичні моделі мають вигляд:

- для типу лісорослинних умов С<sub>3</sub>:

$$phm_{d.cm} = -18,7346 + 7,7865D^{0,4735}H^{0,6245}P^{0,8355}, R^2=0,86; (9)$$

$$phm_{k.cm} = -5,9875 + 3,7407D^{0,2632}H^{0,4433}P^{0,6709}, R^2=0,83; (10)$$

$$phm_{d.z} = 0,3246 + 1,7667D^{0,4385}H^{0,6622}P^{0,8166}, R^2=0,87; (11)$$

$$phm_{k.z} = -0,9846 + 1,1789D^{0,0321}H^{0,4399}P^{0,9459}, R^2=0,81; (12)$$

$$phm_{xhoi} = -4,0125 + 2,5519D^{0,1582}H^{0,6916}P^{0,8125}, R^2=0,84; (13)$$

- для типу лісорослинних умов D<sub>3</sub>:

$$phm_{d.cm} = -18,5647 + 7,4557D^{0,4610}H^{0,6664}P^{0,8224}, R^2=0,88; (14)$$

$$phm_{k.cm} = -2,5468 + 1,6023D^{0,3227}H^{0,5746}P^{0,7613}, R^2=0,82; (15)$$

$$phm_{d.z} = 0,1212 + 1,4160D^{0,4488}H^{0,6767}P^{0,8174}, R^2=0,89; (16)$$

$$phm_{k.z} = -1,0288 + 1,1898D^{0,0215}H^{0,4466}P^{0,9548}, R^2=0,80; (17)$$

$$phm_{xhoi} = -3,5647 + 2,2488D^{0,1569}H^{0,6902}P^{0,8117}, R^2=0,85; (18)$$

де:  $phm_{d.cm}$  – фітомаса деревини стовбурів ялинових деревостанів;  $phm_{k.cm}$  – фітомаса кори стовбурів;  $phm_{d.z}$  – фітомаса гілок;  $phm_{k.z,k}$  – фітомаса кори гілок;  $phm_{xhoi}$  – фітомаса хвої;  $D$  – середній діаметр стовбура, см;  $H$  – середня висота стовбура, м;  $P$  – відносна повнота.

Отримані високі значення показника регресії (0,80-0,91) для розроблених рівнянь свідчать про доцільність їхнього використання під час моделювання та оцінювання динаміки компонентів дерев надземної фітомаси ялинових деревостанів у досліджуваних типах лісу у відповідному діапазоні гіпсометричних висот. Використовуючи розроблені моделі залежності компонентів надземної фітомаси деревостанів ялини європейської від основних таксаційних показників деревостану: середніх значень висоти та діаметра стовбурів, а також відносної повноти [27].

Табл. 3. Надземна стовбурова фітомаса ялинових деревостанів (відносна повнота 0,7) /  
The absolutely dry above-ground phytomass components for spruces forest stands (relative stocking 0.7)

Вік, років	Висота, м	Діаметр, см	Кількість дерев, шт.·га <sup>-1</sup>	Сума площ перетину, м <sup>2</sup> ·га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>	Фітомаса, т·га <sup>-1</sup>							
						стовбур	кора стовбура	гілки	кора гілок	хвоя	загальна	стовбур в корі	гілки в корі
ТЛЮ С <sub>3</sub>													
10	4,0	4,2	1835	2,5	7	7,9	1,9	6,4	0,6	2,2	18,9	9,7	7,0
20	8,1	8,7	1224	7,3	41	40,3	7,1	13,9	1,3	7,3	69,8	47,4	15,1
30	11,8	12,2	1341	15,8	100	68,4	10,8	20,3	1,7	11,4	112,7	79,2	22,0
40	15,3	15,8	1155	22,5	174	96,8	14,2	26,9	2,0	15,2	155,1	111,0	28,9
50	18,0	19,1	970	27,6	244	121,2	16,8	32,5	2,3	18,2	191,0	138,0	34,8
60	20,6	21,8	845	31,6	316	143,9	19,1	37,7	2,5	20,9	224,1	163,0	40,2
70	23,0	24,6	728	34,6	384	165,8	21,2	42,8	2,7	23,4	255,9	187,1	45,4
80	25,0	26,7	656	36,8	440	183,1	22,8	46,7	2,8	25,4	280,8	205,9	49,5
90	26,7	29,1	575	38,3	488	200,6	24,4	50,7	2,9	27,2	305,9	225,0	53,7
100	27,9	30,7	531	39,3	523	212,4	25,4	53,4	3,0	28,4	322,7	237,8	56,5
ТЛЮ D <sub>3</sub>													
10	4,2	4,6	1534	2,6	7	10,6	2,0	5,6	0,6	2,2	21,0	12,6	6,2
20	8,8	9,5	1069	7,5	45	48,4	6,3	12,5	1,3	7,2	75,7	54,7	13,8
30	12,8	13,4	1145	16,2	112	82,0	9,7	18,7	1,8	11,1	123,2	91,7	20,4
40	16,3	16,9	1036	23,1	191	112,7	12,6	24,3	2,1	14,4	166,1	125,3	26,4
50	19,4	20,2	884	28,4	271	141,9	15,2	29,6	2,4	17,3	206,3	157,1	31,9
60	21,8	23,0	781	32,4	343	165,4	17,2	33,8	2,6	19,5	238,5	182,6	36,4
70	24,2	25,8	679	35,5	413	189,5	19,2	38,2	2,7	21,7	271,4	208,7	40,9
80	26,4	28,3	602	37,7	476	211,1	21,0	42,1	2,9	23,6	300,7	232,1	45,0
90	28,2	30,7	530	39,2	526	230,7	22,5	45,6	3,0	25,3	327,2	253,3	48,6
100	29,6	32,8	479	40,3	567	246,7	23,8	48,5	3,1	26,6	348,7	270,5	51,6

Зважаючи на високі значення показника регресії для різних компонентів надземної фітомаси деревостанів (0,81-0,91), отримані рівняння можна використовувати для моделювання їхньої динаміки залежно від вибраних таксаційних показників. Результати табулювання значень компонентів надземної фітомаси деревостанів ялини європейської залежно від середніх значень висоти й діаметра стовбура та відносної повноти, які є визначені для відповідного віку досліджуваних деревостанів у типах лісорослинних умов, наведено у табл. 3 та на рис. 1 та на рис. 2, а відсоткові значення відповідних компонент біопродуктивності наведено на рис. 3 та рис. 4.

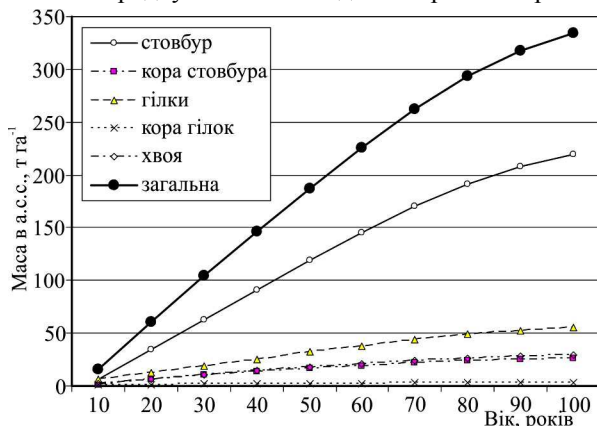


Рис. 1. Вікова динаміка компонентів надземної фітомаси ялинових деревостанів у ТЛЮ С<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7) / Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components for spruces forest stands in TSC C<sub>3</sub> (relative stocking 0.7)

Використовуючи відповідні залежності від середнього діаметра та висоти стовбурів та відносної повноти деревостанів, для встановлення біопродуктивності було змодельовано значення таких окремих компонентів надземної фітомаси деревостанів ялини європейської, як: фітомаса стовбура, кори стовбура, гілок, кори гілок та хвої. Значення фітомаси стовбура у корі, гілок у корі та загальної фітомаси отримано шляхом додавання зна-

чень відповідних компонентів фітомаси. Для аналізу було обрано деревостани ялини європейської у типах лісорослинних умов (ТЛЮ) вологий сугруд (С<sub>3</sub>) та вологий груд (D<sub>3</sub>) I класу бонітету з відносною повнотою 0,70. Фактично це середнє значення відносної повноти для цього класу бонітету, який переважає для досліджуваних деревостанів.

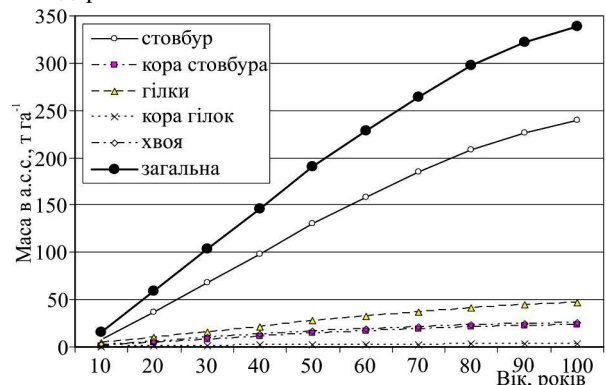
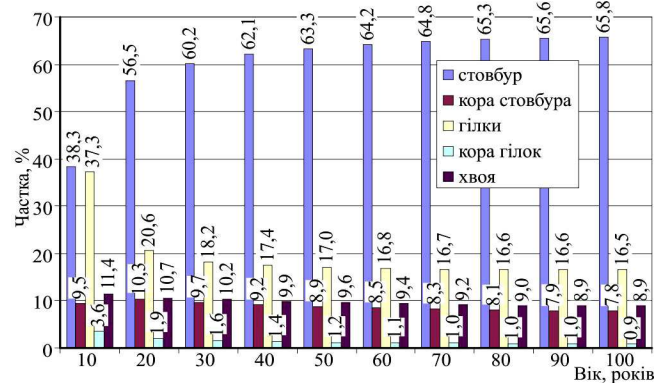


Рис. 2. Вікова динаміка компонентів надземної фітомаси ялинових деревостанів у ТЛЮ D<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7) / Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components for spruces forest stands in TSC D<sub>3</sub> (relative stocking 0.7)

Встановлено різницю у значеннях як фітомаси, так і середніх таксаційних показників деревостанів. Так, значення середньої висоти для деревостанів у ТЛЮ С<sub>3</sub> від віку 10 до 100 років зростає від 4,0 до 27,9 м, а у D<sub>3</sub> – від 4,2 до 29,6 м, середнього діаметра – від 4,2 до 30,7 см та від 4,6 до 32,8 см відповідно (див. табл. 3 та рис. 1-4). Кількість дерев у ТЛЮ С<sub>3</sub> зменшується від 1835 до 531 шт.·га<sup>-1</sup>, а у ТЛЮ D<sub>3</sub> – від 1534 до 479 шт.·га<sup>-1</sup>, сума площ перетину зростає від 2,5 до 39,3 м<sup>2</sup>·га<sup>-1</sup> та від 2,6 до 40,3 м<sup>2</sup>·га<sup>-1</sup> відповідно, а значення запасу також зростає від 7 до 523 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup> та від 7 до 567 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup> відповідно. Разом з тим, фітомаса стовбура в ТЛЮ С<sub>3</sub> зростає від 7,9 до 212,4 т·га<sup>-1</sup>, а у ТЛЮ D<sub>3</sub> – від 10,6 до 246,7 т·га<sup>-1</sup>, фітомаса кори стовбура – від 1,9 до



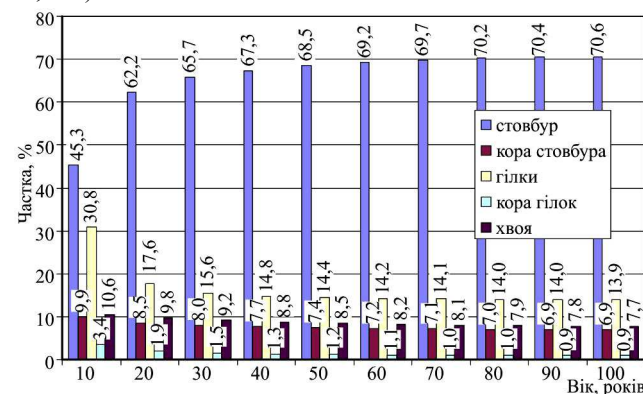
25,4 т·га<sup>-1</sup> та від 2,0 до 23,8 т·га<sup>-1</sup> відповідно, фітомаса гілок – від 6,4 до 53,4 т·га<sup>-1</sup> та від 5,6 до 48,5 т·га<sup>-1</sup> відповідно, фітома кори гілок – від 0,6 до 3,0 т·га<sup>-1</sup> та від 0,6 до 3,1 т·га<sup>-1</sup> відповідно, фітомаса стовбура в корі – від 9,7 до 237,8 т·га<sup>-1</sup> та від 12,6 до 270,5 т·га<sup>-1</sup> відповідно, гілок в корі – від 7,0 до 56,5 т·га<sup>-1</sup> та від 6,2 до 51,6 т·га<sup>-1</sup> відповідно, а загальна продуктивність фітома си дерев у досліджуваних деревостанах зростає від 18,9 до 322,7 т·га<sup>-1</sup> та від 21,0 до 348,7 т·га<sup>-1</sup> відповідно.



**Рис. 3.** Вікова динаміка частки компонентів надземної фітома си ялинових деревостанів у ТЛУ С<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7) / Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components share for spruces forest stands in TSC C<sub>3</sub> (relative stocking 0.7)

Отже, встановлено, що похідні модальні ялинові деревостани в ТЛУ D<sub>3</sub> незначно переважають аналогічні в ТЛУ С<sub>3</sub> за такими таксаційними показниками деревостанів, як: середня висота (від 2,4 до 0,8 % від віку 10 до

100 років), середній діаметр (від 4,4 до 2,5 %), сума площ поперечного перетину (від 0,87 до 0,92 %), запасу деревостану (від 1,12 до 1,32 %). Кількість дерев на одиницю площі має обернену тенденцію і є більшою в ТЛУ С<sub>3</sub> (від 8,6 до 4,7 %). Щодо компонентів надземної фітома си дерев, яку використано для встановлення продуктивності й структури фітома си деревостану, то в ТЛУ D<sub>3</sub> вищі значення притаманні фітома си стовбура (від 6,8 до 10,3 %) та фітома си стовбура у корі (від 2,7 до 6,7 %). Значення решти показників вищі у ТЛУ С<sub>3</sub>: фітома си кори стовбура (від 19,6 до 11,3 %), фітома си деревини гілок (від 17,8 до 14,5 %), фітома си кори гілок (від 4,4 до 1,9 %), фітома си хвої (від 7,7 до 11,9 %).



**Рис. 4.** Вікова динаміка частки компонентів надземної фітома си ялинових деревостанів у ТЛУ D<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7) / Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components share for spruces forest stands in TSC D<sub>3</sub> (relative stocking 0.7)

**Табл. 4.** Динаміка біопродуктивності ялинових деревостанів / Spruces stands bioproductivity dynamics

Група віку	Площа, га	Стовбура біопродуктивність, т							стовбур в корі	гілки в корі
		стовбур	кора стовбура	гілки	кора гілок	хвоя	загальна			
Молодняки I групи	557,5	19049,4	3465,3	6938,4	652,4	3590,1	33695,5	22514,7	7590,8	
Молодняки II групи	746,9	47204,6	7621,9	14295,4	1218,1	8031,3	78371,2	54826,4	15513,5	
Середньовікові	2522,4	365914,3	48637,6	95806,4	6380,4	53351,8	570090,4	414551,9	102186,8	
Пристиглі	2948,9	565281,4	69853,9	143648,0	8616,3	78047,5	865447,1	635135,2	152264,4	
Стигли	4970,0	1035325,2	125184,6	261234,9	15199,4	141037,8	1577981,9	1160509,8	276434,3	
Перестиглі	1692,1	371949,5	44356,0	93475,7	5338,3	50319,5	565439,0	416305,4	98814,0	
Всього	13437,8	2404724,3	299119,2	615398,8	37405,0	334378,0	3691025,2	2703843,4	652803,8	
Частка, %	-	65,2	8,1	16,7	1,0	9,1	100,0	73,3	17,7	

Загальна продуктивність фітома си вищою є у ТЛУ С<sub>3</sub> у віці від 10 до 30 років (від 0,7 до 2,9 %), після чого, починаючи від віку 40 років вищі значення притаманні модальним деревостанам у ТЛУ D<sub>3</sub> (від 0,2 до 1,9 %). Отже, можна дійти висновку, що загальна біопродуктивність у досліджуваних типах лісорослинних умов мають близькі значення, але істотно відрізняються значеннями та структурою компонентів надземної фітома си стовбурів деревостану – вищі значення фітома си стовбура та стовбура у корі характерні модальним деревостанам у ТЛУ D<sub>3</sub>, а фітома си гілок, кори гілок та хвої – у ТЛУ С<sub>3</sub>. Значення фітома си кори стовбура у віці 10-30 років вищі в ТЛУ D<sub>3</sub>, а від 40 до 100 років – у ТЛУ С<sub>3</sub>.

Аналізуючи дані табл. 4 встановлено, що надземна стовбура фітома си молодняків загалом становить 112066,8 т або 3,0 %, середньовікових деревостанів – 414551,9 т (15,4 %), пристиглих – 865447,1 т (23,4 %), стиглих – 1577981,9 т (42,8 %) та перестиглих – 565439,0 т (15,3 %). Аналізуючи динаміку частки продуктивності стовбура фітома си встановлено, що час-

тка фітома си стовбура зростає від 56,5 до 65,8 %, кори стовбура, навпаки, зменшується від 10,3 до 7,8 %, гілок – від 20,6 до 16,5 %, кори гілок – від 1,9 до 0,9 %, а хвої – від 10,7 до 8,9 %.

## Висновок / Conclusions

Отримані результати опрацювання результатів регресійного аналізу дослідження залежностей компонентів надземної стовбура фітома си деревостанів з домінуванням ялини європейської та значення отриманих коефіцієнтів детермінації дали змогу встановити, що найбільш інформативними та придатними для використання є моделі залежностей досліджуваних компонентів фітома си від середніх значень висоти та діаметра досліджуваних деревостанів, а також від їхньої відносної повноти. Результати апроксимації для відповідних значень середніх висот і діаметрів деревостанів у межах визначених відносних повнот для досліджуваних типів лісорослинних умов мають біолого-екологічне та лісівниче пояснення, яке ґрунтується на відповідних залежностях значень компонентів надземної фітома си дере-

востанів від їхніх середніх таксаційних показників, а розроблені таблиці за рівнем точності та достовірності можуть бути рекомендовані для практичного використання в гірських ялинових деревостанах Українських Карпат.

Загальна надземна стовбурова фітомаса деревостанів ялинових деревостанів на досліджуваній території становить 3691025,2 т, зокрема найбільшу частку становлять стиглі деревостани – 42,8 %. Зважаючи на нерівномірний розподіл площ деревостанів за групами віку зі зростанням віку деревостану збільшується їх відносна частка у загальній продуктивності фітомаси. Найбільшу частку у загальній продуктивності надземної частини фітомаси деревостанів становить фітомаса стовбура (65,2 %), гілок (16,7 %), кори стовбура (8,1 %), хвої (9,1 %) та кора гілок (1,0 %).

Найбільшу частку у структурі загальної продуктивності фітомаси ялинових деревостанів становить фітомаса стовбура. У площині груп віку вона зі збільшенням віку деревостану зростає. Аналогічно збільшується значення частки стовбура у корі від 66,8 до 73,6 %. Частка гілок у корі з віком навпаки – зменшується від 22,5 до 17,6 %.

## References

1. Debrinyuk, Yu. M. (2008). Physical properties of wood *Picea abies* [L.] Karst. *Scientific Bulletin of UNFU*, 18(11), 10–21. [In Ukrainian].
2. Decoux, V., Varcin, E., & Leban, J.-M. (2004). Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Ann. Sci. For.* 61, 251–262.
3. Downes, G., Evans, R., Schimleck, L., & Fritts, H. (2000). The commercial cambium: understanding the origin of wood property variation. *Experimental Biology Reviews*, 123, 325–336.
4. Elisabet, Martínez-Sancho, et al. (2020). The GenTree Dendroecological Collection, tree-ring and wood density data from seven tree species across Europe. *Scientific Data*. 7, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0340-y>
5. Gerendiaian, A. Z., Peltola, H., Pulkkinen, P., Jaatinen, R., Pappinen, A., & Kellomäki, S. (2007). Differences in growth and wood property traits in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 37(12), 2600–2611. <https://doi.org/10.1139/X07-113>
6. Harmon, N. E., et al. (1986). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advance in Ecological Research*. 15, 133–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60121-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60121-X)
7. Hrynyk, H. H. (2015). Dynamics of the main assessments indexes of spruce forests stands of different exposition and orographic groups of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(2), 20–31. [In Ukrainian].
8. Hrytsiuk, Yu., Grytsyuk, P., Dyak, T., & Hrynyk, H. (2019). Software Development Risk Modeling. IEEE 2019 14th *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies* (CSIT 2019), (Vol. 2, pp. 134–137), 17–20 September, Lviv, Ukraine. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 206 p. <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2019.8929778>
9. Khariton, I. I., & Sopushinsky, I. M. (2015). Peculiarities of volume mass formation and macrostructure of European spruce wood in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(2), 90–95. Retrieved from: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/990>. [In Ukrainian].
10. Knapic, S., Louzada, J. L., Leal, S., & Pereira, H. (2007). Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. *Annals of Forest Science*, 64, 211–218.
11. Krzysik, F. (1978). *Nauka o drewnie*. Warszawa: PWN, 653 p.
12. Lakin, G. F. (1980). *Biometrics*. Moscow: Vysshaya shkola. 293. [In Russian].
13. Lakyda, P. I. (2002). Phytomass of forests of Ukraine. Temopil: Zbruch, 256. [In Ukrainian].
14. Lakyda, P. I., & Volodymyrenko, V. M. (2008). Artificial spruce stands of the Ukrainian Carpathians – a forecast of growth and productivity. Kyiv: NSC IAE, 158. [In Ukrainian].
15. Lakyda, P. I., Vasylyshyn, R. D., Lashchenko, A. G., & Terentyev, A. Yu. (2011). Standards for assessment of components of aboveground phytomass of trees of the main forest-forming species of Ukraine. Kyiv: Ed. ECO-Inform Dim, 192. [In Ukrainian].
16. Lanvermann, Ch., Hass, Ph., Wittel, F. K., & Niemi, P. (2014). Mechanical Properties of Norway Spruce: Intra-Ring Variation and Generic Behavior of Earlywood and Latewood until Failure. *BioResources*, 9(1), 105–119.
17. Louzada, J. L., & Fonseca, F. (2002). The heritability of wood density components in *Pinus pinaster* Ait. and the implications for tree breeding. *Annals of Forest Science*, 59, 867–873.
18. Louzada, J. L. (2003). Genetic correlations between wood density components in *Pinus pinaster* Ait. *Annals of Forest Science*, 60, 285–294.
19. Molteberg, D., & Hoibo, O. (2006). Development and variation of wood density, kraft pulp yield and fibre dimensions in young Norway spruce (*Picea abies*). *Wood Science and Technology*, 40(3), 173–189. <https://doi.org/10.1007/s00226-005-0020-2>
20. Parker, M. L., & Henschel, W. N. S. (1971). The use of Engelmann spruce latewood density for dendrochronological purposes. *Can. J. For. Res.* 1, 90–98.
21. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., & Kemmerer J., Uhl. E. (2018). Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*. 429, 589–616. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.045>
22. Sopushynskyy, I., Kharyton, I., Teisinger, A., Mayevskyy, V., & Hrynyk, H. (2017). Wood density and annual growth variability of *Picea abies* (L.) Karst. growing in the Ukrainian Carpathians. *Eur. J. Wood Prod.* 75(3), 419–428. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1079-1>
23. SOU 02.02-37-476: 2006. Trial areas for forest inventory. Mortgage method. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine.
24. Stratiy, N. V. (2016). Quantitative characteristics of quality indicators of white fir, beech and European spruce trees in the stands of NPP "Vyzhnytskyi". *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(4), 79–81. <https://doi.org/10.15421/40270417>
25. Szaban, J., Kowalkowski, W., Karaszewski, Z., & Jakubowski, M. (2014). Effect of tree provenance on basic wood density of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) grown on an experimental plot at Siemianice Forest Experimental Station. *Drewno*, 57(191), 135–143. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.061.10>
26. Wagenführ, R. (2007). *Holzatlas*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 816.
27. Zadorozhnyy, A. I., & Hrynyk, H. H. (2019). Dependence of the components of above-ground phytomass of spruce stands on average assessments indexes in the prevailing site types of Polynsky range of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(2), 35–42. <https://doi.org/10.15421/40290207>
28. Zadorozhnyy, A., & Hrynyk, H. (2016). Dynamics of Phytomass Density of Spruces Trees Stem Depending from Types Site Conditions in Limits of Polynskyy Range of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), 32–39. <https://doi.org/10.15421/40260405>
29. Zobel, B. J., & Talbert, J. (1984). *Applied Forest tree improvement*. John Wiley & Sons, 505.
30. Zobel, B. J., & Van Buijtenen, J. P. (1989). *Wood variation and wood properties*. Springer, Berlin, 363 p.



## THE TRUNK BIOPRODUCTIVITY OF SPRUCE STANDS OF THE POLONYN RIDGE OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

The wood density is extremely variable within the mind, in the area and even in different parts of the trunk. The type of site conditions (TSC) is one of the factors that strongly affect the strength of wood in tree species. It has also been confirmed that within the same forest area depends on such assessments indexes of the tree as height and diameter, as well as in the middle of tree trunks. The purpose of the work is to establish the features of the trunk bioproductivity of spruce stands of the Polonyn ridge of the Ukrainian Carpathians. The experimental data were collected on temporary test plots (TTP), which are laid out in accordance with the generally accepted forest assessment methodology. At the stage of laboratory research, sections of trunks and branches of the crown determined the values of natural and basic density, as well as density in the absolutely dry state of the respective fractions of wood and bark according to the method of prof. P. I. Lakyda. Students *t*-test was used at the *p*-level to check the difference between the mean values of individual samples formed by the results of cluster analysis. In our case, during the analysis for most data  $t_{\geq t_{st}}$ , which indicates the difference between the average values of morphological and taxonomic characteristics of trees in the samples in TSC C<sub>3</sub> and D<sub>3</sub>. For modeling of assessments indexes the developed H. Hrynyk. The equation of mathematical models of growth of spruce stands of the corresponding exposition-orographic groups. The values of phytomass indicators are calculated on the basis of the density of its respective fractions in the absolutely dry state [t·ha<sup>-1</sup>]. The developed models of dependence of components of aboveground phytomass of Norway spruce stands on the main assessments indexes of forests stand: average values of height and diameter of trunks, and also relative completeness are used. It is established that the derived modal spruce stands in TSC D<sub>3</sub> slightly predominate similar in TSC C<sub>3</sub> in such assessments indexes of forests stands as average height (from 2.4 to 0.8 % from the age of 10 to 100 years), average diameter (from 4.4 to 2.5 %), the sum of cross-sectional areas (from 0.87 to 0.92 %), the stock of stands (from 1.12 to 1.32 %). The number of trees per unit area has the opposite trend and is higher in TSC C<sub>3</sub> (from 8.6 to 4.7 %). Regarding the components of aboveground phytomass of trees, which was used to determine the productivity and structure of phytomass of the stand, in TSC D<sub>3</sub> higher values are inherent in phytomass of the trunk (from 6.8 to 10.3 %) and phytomass of the trunk in the bark (from 2.7 to 6.7 %). The values of other indicators are higher in TSC C<sub>3</sub>: phytomass of trunk bark (from 19.6 to 11.3 %), phytomass of wood branches (from 17.8 to 14.5 %), phytomass of bark of branches (from 4.4 to 1.9 %), phytomass of pine needles (from 7.7 to 11.9 %). The total aboveground trunk phytomass of spruce stands in the study area is 3691025.2 tons, including the largest share of mature stands – 42.8 %. Due to the uneven distribution of stands by age groups with increasing age of the stand increases their relative share in the total productivity of phytomass. The largest share in the total productivity of the aboveground part of the phytomass of stands is the phytomass of the trunk (65.2 %), branches (16.7 %), trunk bark (8.1 %), pine needles (9.1 %) and bark of branches (1.0 %). The largest share in the structure of the total phytomass productivity of spruce stands is the phytomass of the trunk. In the plane of age groups, it increases with increasing age of the stand. There is also an increase in the value of the share of the trunk in the bark from 66.8 to 73.6 %. The share of branches in the bark with age on the contrary – decreases from 22.5 to 17.6 %.

**Keywords:** phytomass of trunk wood; phytomass of the crown; type of site conditions; average assessments indicators of the stand.