



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412213>

Article received 2022.11.02
Article accepted 2022.12.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Mykola Korol
nikkorol@ukr.net

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630.4:632.7:58.07

Структура природних насаджень заповідних територій Українських Карпат та оцінка стовбурового запасу вуглецю

М. М. Король¹, О. Є. Токар², М. І. Густі³, С. В. Портах⁴, Б. З. Нагорняк⁵,
В. П. Приндак⁶, В. В. Земан⁷, В. О. Крамарець⁸

Представлено результати досліджень просторової структури старовікових деревостанів на території природного заповідника «Горгани» та національного природного парку «Сколівські Бескиди» зі встановленням запасу вуглецю стовбурової деревини за вертикальними горизонтами. Дослідження просторової структури деревостанів природного походження є актуальними з погляду з'ясування можливостей адаптації лісів до зміни клімату, а також здатності лісових екосистем протидіяти абіотичним і біотичним збуренням.

Основними лісоутворювачами у старовікових деревостанах заповідних територій є аборигенні деревні види – бук лісовий, ялиця біла та ялина європейська. Диференціація дерев за ступенями товщини описується бімодальним розподілом. Спостережено високу мінливість за діаметром та висотою, що вказує на гетерогенність ознак обстежених насаджень. Розподіл запасу за висотними горизонтами нерівномірний: у верхньому ярусі зосереджено до 80% загального запасу та до 40% – загальної кількості дерев на 1 га. У старовікових деревостанах заповідної зони НПП «Сколівські Бескиди» за кількістю дерев домінує верхній ярус (до 60%), нижній ярус вміщає до 30%, середній ярус – до 20% дерев. У старовікових деревостанах ПЗ «Горгани» кількість дерев у верхньому та середньому ярусах є дуже подібною – тут зосереджено до 30% дерев, а у нижньому ярусі – до 40%. Для старовікових насаджень заповідних територій властивий групово-випадковий тип

¹ Король Микола Михайлович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-670-20-55. E-mail: nikkorol@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9023-0840>

² Токар Ольга Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри міжнародної інформації. Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.: +38-066-270-11-40. E-mail: tokarolya@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-2472>

³ Густі Микола Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри міжнародної інформації. Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.: +38-0671690271. E-mail: kgusti@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2576-9217>

⁴ Портах Степан Володимирович – асистент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-0685045265. E-mail: portakh@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5172-6640>

⁵ Нагорняк Богдан Зіновійович – асистент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-068-536-42-42. E-mail: bnahornjak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>

⁶ Приндак Василь Петрович – директор. НПП «Сколівські Бескиди», вул. Князя Святослава, 3, м. Сколе, Львівська обл., 82600, Україна. Тел.: +38-095-632-61-64. E-mail: pryndak@ukr.net

⁷ Земан Віталій Васильович – директор. НПП «Бойківщина», вул. Воїнів УПА, 32, смт. Бориня, Львівська обл., 82547, Україна. Тел.: +38-032-260-04-08. E-mail: npp_bojkivschuna@ukr.net

⁸ Крамарець Володимир Олександрович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-050-571-0960. E-mail: v_kramarets@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5978-3711>

розміщення дерев. Щільність вуглецю стовбурової деревини у досліджуваних деревостанах є найвищою у першому ярусі і може змінюватися від 110 до 220 т/га.

Ключові слова: просторова структура насадження; диференціація дерев; депонування вуглецю; щільність вуглецю; фітомаса; динаміка запасу; видове різноманіття; лісотвірні види.

Вступ (Introduction). Особливу цінність для досліджень адаптивного потенціалу лісових екосистем до різноманітних негативних абіотичних чи біотичних впливів мають ліси природного походження, структура яких відповідає едафо-кліматичним умовам регіону їх поширення. Таким лісам здебільшого притаманний високий рівень стійкості до несприятливих чинників абіотичного та біотичного характеру, що, ймовірно, зумовлено особливостями їхньої генетичної структури та високим рівнем біологічного різноманіття відповідних екосистем (Isbell et al., 2015; Hlásny et al., 2017). На сьогодні цей аспект є актуальним, оскільки тісно пов'язаний із глобальними кліматичними змінами, зокрема і на території європейських країн (Castañeda, 2000; Baycheva-Merger, & Wolfslehner, 2016). Саме у контексті можливості адаптації природних деревостанів до кліматичних відхилень доцільно вивчати потенціал лісових екосистем (Lindner et al., 2010; Grassi et al., 2017; Nabuurs et al., 2018).

Формування сучасних лісових угруповань Українських Карпат відбувалося впродовж тривалого періоду часу, зокрема і за умов значного антропогенного впливу. Загалом з середини XIX і практично до 80-х років XX ст. лісове господарство в Українських Карпатах велося з домінуванням концепції інтенсивного лісокористування, яка передбачала наявність значного дисбалансу між обсягами заготівлі деревини та приростом насаджень. У цей період масові рубки головного користування здійснювали суцільно-лісосічним способом на ділянках значної площі з наступним штучним відтворенням (відновленням) лісів. Створення лісових культур (садінням або сівою) призвело до формування одновікових, переважно монокультурних деревостанів, з домінуванням у складі ялини європейської. Водночас, у лісових районах зі складним рельєфом та за відсутності інфраструктурних об'єктів (доріг) для заготівлі деревини, а також на заповідних територіях збереглися старовікові природні лісові масиви, включно з лісами пралісового типу.

Враховуючи, що на рівень біотичної стійкості лісостанів значний вплив має їхній генезис, важливим об'єктом для досліджень є старовікові ліси, які не зазнали впливу господарської діяльності або ж цей вплив був незначним. Такі ліси найчастіше зосереджені на територіях, що мають охоронний статус. У межах української частини Карпатської гірської системи старовікові ліси природного походження збереглися, зокрема, у межах територій природного заповідника (далі – ПЗ) «Горгани» та Національного природного парку (далі – НПП) «Сколівські Бескиди» (Клімук та ін., 2006; Крамарець та ін., 2019).

Такі насадження складні за будовою, різновікові, багаторярусні. За оцінками різних дослідни-

ків (Cherniavskiy, 2021; Стойко, 2013 та ін.), на території Українських Карпат розповсюджені букові, ялинові та ялицеві праліси (квазіпраліси), які охоплюють площу до 95 тис. га. Загальна площа українських пралісів, що знаходяться під охороною ЮНЕСКО, становить майже 29 тис. га, а ще понад 43 тис. га віднесено до їхньої буферної зони.

У Горганах на висотах від 800 до 1500 м н.р.м. на значних площах збереглися буково-ялицево-ялинові, ялицево-ялинові та ялинові старовікові природні насадження (у т.ч. пралісового типу), які ростуть переважно у вологих типах лісу (вологий чистосмерековий суббір, вологий ялицево-смерековий суббір, вологий кедрово-смерековий суббір, волога високогірна сусмеречина, волога буково-ялицева сусмеречина, волога ялицева сусмеречина).

У заповідній зоні НПП «Сколівські Бескиди» на абсолютних висотах 700-1200 м н.р.м. також збереглися старовікові ліси. Вони приурочені переважно до вологих смереково-ялицевих субучин і бучин. Основними лісотвірними видами у старовікових деревостанах є бук лісовий, ялина європейська та ялиця біла. У домішці трапляються клен-явір, в'яз гірський та горобина звичайна. Заповідна зона НПП «Сколівські Бескиди», за даними лісової інвентаризації, становить близько 5,1 тис. га.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods). *Об'єкт досліджень* – старовікові деревостани на території НПП «Сколівські Бескиди» та ПЗ «Горгани». *Предмет дослідження* – особливості просторової структури старовікових деревостанів; закономірності формування запасу деревини за ярусами та обсяги нагромадження вуглецю стовбуровою деревиною.

Завдання досліджень полягали у вивченні диференціації дерев за діаметром у старовікових деревостанах природного походження; у встановленні складу деревостанів за ярусами; у вивченні просторової структури складних насаджень; в оцінюванні розподілу запасу стовбурової деревини різних деревних видів за ярусами; в оцінюванні обсягів нагромадженого вуглецю стовбуровою деревиною у природних насадженнях заповідних територій Українських Карпат.

Під час опрацювання результатів досліджень застосовано комп'ютерні технології, що базуються на використанні сучасних методів збору та оброблення лісотаксаційної інформації; методи математичної статистики, зокрема використання множинного кореляційного та регресійного аналізів; методу багатомірного математичного моделювання з дотриманням основних принципів системного підходу. Для оцінювання адекватності математичних моделей застосовано стандартні статистичні методи (Tokar, Lesiv, & Korol, 2014). Запаси вуглецю у стовбуровій деревині насаджень обчис-

лено методом «знизу-вгору» на основі прямих підрахунків запасів і щільності деревини за породами з використанням конверсійного коефіцієнта (Лакіда, 2002; Lakida, Nilsson, & Shvidenko, 1996). Розрахунки методом конверсійного коефіцієнта здійснено на основі розробленої бази даних статистичної інвентаризації пробних площ заповідних територій з використанням регресійних співвідношень: залежність фітомаси від деревної породи, середнього віку, класу бонітету, відносної повноти насаджень (Lakida, Nilsson, & Shvidenko, 1996; Лакіда, 2002; Tokar, Lesiv, & Korol, 2014; Токар, Король, Густі, 2021).

Територія ПЗ «Горгани» – суцільний лісовий масив поза межами населених пунктів. Натомість,

територія НПП «Сколівські Бескиди» має кластерний характер – лісові масиви національного природного парку межують із населеними пунктами, сільгоспугіддями та лісами інших користувачів.

Для вибору місць закладання пробних площ застосовано рівномірну растрову сітку у межах територій ПЗ «Горгани» та НПП «Сколівські Бескиди» (рис. 1). У подальшому, на підставі матеріалів лісовпорядкування, відібрано ділянки, де середній вік насаджень становив більше 100 років. Запропонований спосіб розміщення пробних площ (тестових ділянок) забезпечує випадковість охоплення території та об'єктивність результатів досліджень, що є важливою умовою для статистичного опрацювання отриманих даних.

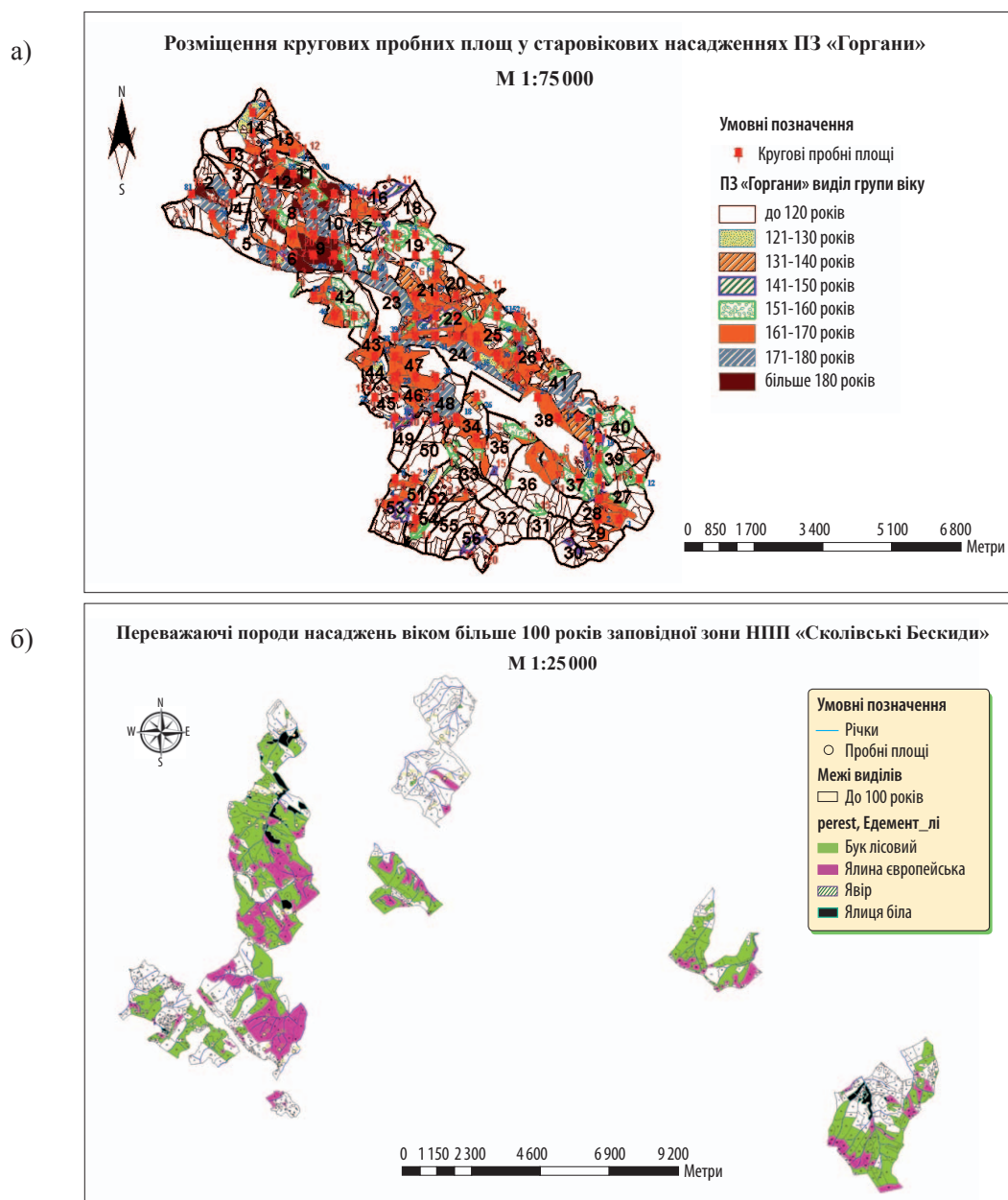


Рис. 1. Вікова структура насаджень, розподіл деревостанів за переважуючими деревними видами та розміщення пробних площ (а – ПЗ «Горгани»; б – НПП «Сколівські Бескиди»)

Fig. 1. Age structure of the forest stands, dominating tree species, and location of the test plots (a – Nature Reserve “Gorgany”; b – National Natural Park “Skole Beskyds”)

Просторову та вікову структури, запас насаджень визначено на кругових пробних площадках з фіксованою площею 500 м². Координати центру ділянок зафіксовано GPS-навігатором. Вертикальна структура насадження вказує на яку частку зайнятий рослинністю відповідний умовний горизонт (ярус).

Горизонтальну структуру насадження вивчали за розміщенням дерев (позиціонуванням) на тестових ділянках, варіабельністю діаметрів та висот дерев. Видове різноманіття встановлено за індексом Шеннона (E), а також індексом диференціації дерев (T). Тип розміщення дерев встановлювали на основі аналізу величини індексів, зокрема індексу Кларка-Еванса (R) та його модифікації за Доннеллі, кутового індексу (W). Формули розрахунку індексів для визначення видового різноманіття взято із літературних джерел (Pretzsch, 2001; Gadow, 2001; Gadow, Hui, Chen, & Albert, 2003; Diggle, 2013). Структурний різновид насадження може бути індикатором для оцінювання рівня екологічного різноманіття та стабільності екосистеми.

Результати дослідження (Results). Мішані насадження НПП «Сколівські Бескиди» та ПЗ «Горгани» ростуть на абсолютних висотах 700-1400 м н.р.м. Основними лісотвірними породами є *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst. та *Abies alba* Mill. У домішці трапляються *Acer pseudoplatanus* L., *Ulmus glabra* Huds., *Sorbus aucuparia* L. та *Pinus cembra* L. Диференціація дерев за ступенями товщини у досліджуваних насадженнях в основному описується бімодальним розподілом. Цей тип розподілу притаманний насадженням природного походження, для яких властива вертикальна строкастість. У таких насадженнях більшу частку становлять молоді дерева з діаметром на висоті грудей до

28 см. На території цих двох природоохоронних об'єктів лісгосподарська діяльність та загалом антропогенне навантаження в історичному аспекті були неоднаковими. Ліси на території, де зараз утворено НПП «Сколівські Бескиди», інтенсивно загосподарені, починаючи із середини XIX і практично до кінця XX ст. (Крамарець та ін., 2019). Тут було прокладено мережу вузькоколіїних доріг, діяли потужні деревообробні підприємства, здійснено суцільні рубки у значних обсягах. На зрубах проводили штучне лісовідновлення насаджень, часто без урахування едафо-кліматичних умов території. Найчастіше висаджували ялину європейську, як деревний вид, що найшвидше забезпечував отримання ділових лісоматеріалів. Територія, яка увійшла до складу заповідної зони НПП, досить інтенсивно експлуатувалася до й після Другої світової війни. Про це свідчать вкраплення ділянок із монокультурами ялини європейської поряд із старовіковими ялицево-буковими деревостанами складної просторової будови.

Диференціація дерев за діаметром між дослідними об'єктами суттєво різниться (табл. 1). У старовікових лісостанах ПЗ «Горгани» на 1 га росте більша кількість дерев (у середньому 1000 шт./га). На території НПП «Сколівські Бескиди» у старовікових лісостанах на 1 га в середньому росте 500 дерев.

Мінливість насаджень заповідних територій за діаметром і висотою є досить високою і становить більше 40%. При цьому розмах варіації R за діаметром становить до 98-99 см, а за висотою – до 35-37 метрів. Отримані результати біометричної оцінки за діаметром і висотою свідчать про те, що обстежені деревостани є гетерогенними, тобто складними за будовою.

Таблиця 1. Основні лісівничо-таксаційні та біометричні показники деревостанів

Table 1. Main biometric parameters of the forest stands

Назва	Середнє значення, X_{cp}	Розмах варіації, R	Стандартне відхилення, σ	Коефіцієнт мінливості, V	Асиметрія, A	Експес, E
за діаметром, см						
ПЗ «Горгани»	22,3	98,4	13,7	61,2	1,42	2,93
НПП «Сколівські Бескиди»	30,0	99,0	18,9	62,8	0,77	-0,08
за висотою, м						
ПЗ «Горгани»	10,8	34,9	4,3	40,0	0,42	-0,69
НПП «Сколівські Бескиди»	19,0	37,6	10,1	53,2	0,22	-1,1

Розподіл кількості дерев за вертикальними горизонтами (ярусами) має певну закономірність і також різниться для дослідних об'єктів. В обстежених старовікових деревостанах заповідної зони НПП «Сколівські Бескиди» домінує верхній ярус за кількістю дерев (до 60%); відповідно, нижній ярус становить до 30%, а середній – до 20%.

У старовікових деревостанах ПЗ «Горгани» вертикальна структура дещо інша. Кількість дерев у верхньому та середньому ярусах є майже однаковою – тут зосереджено до 30% дерев, тоді як у нижньому ярусі – майже 40% (рис. 2).

Для насаджень ПЗ «Горгани» переважаючою породою у всіх вертикальних ярусах є *Picea abies*. Її

частка усереднено становить до 70%, *Abies alba* – до 25%, *Fagus sylvatica* – до 5%. У нижньому ярусі деревостанів досить значною є частка *Abies alba* (до 30%), але майже відсутня *Pinus cembra*. Сосна кедрова росте у верхньому та середньому ярусах, її частка становить до 1% за кількістю дерев.

На висотах до 1000 м н.р.м. у старовікових деревостанах заповідної зони НПП «Сколівські Бескиди» у всіх вертикальних горизонтах переважає *Fagus sylvatica*, частка якого становить 60%; *Picea abies* займає до 20%, а *Abies alba* – до 15%. В обстежених деревостанах також значною є частка ялиці білої у нижньому ярусі (майже 20%); по-

ширена тут і горобина звичайна – майже 2%. На висотах над рівнем моря більше 1000 м також домінує бук (до 45%), тоді як участь ялиці та ялини становить до 25%, клена-явора – до 15% від кількості дерев.

Розміщення дерев на ділянці (горизонтальна структура), а також оцінювання різноманітності та диференціації здійснювали на підставі розрахованих індексів для кожної пробної площі, а пізніше отримані дані усереднювали. Основні критерії оцінки особливостей розміщення дерев, видового різноманіття та диференціації для насаджень заповідних територій наведено у табл. 2.

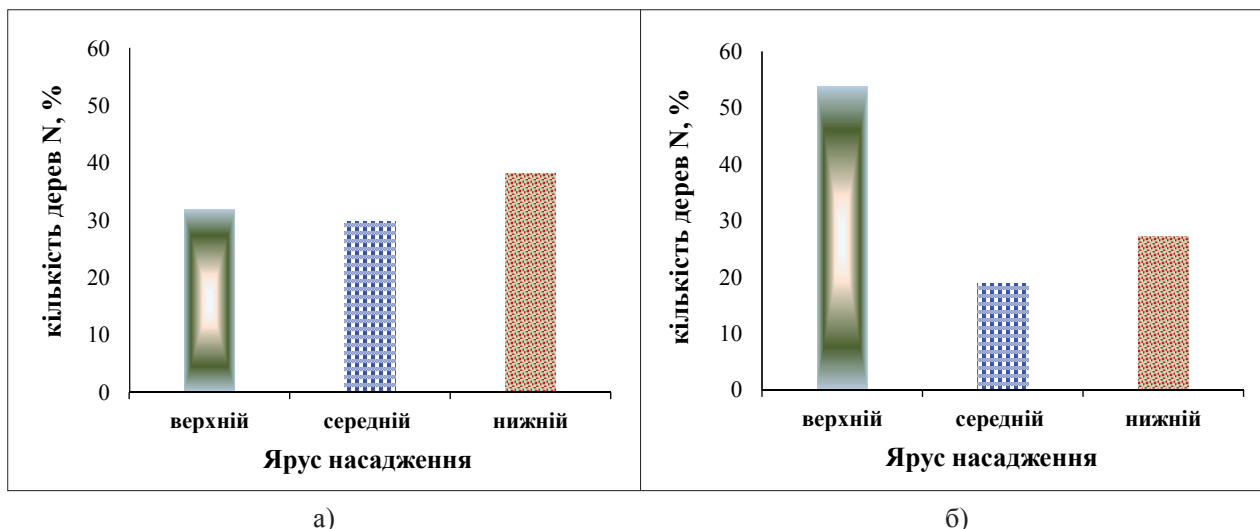


Рис. 2. Розподіл кількості дерев за ярусами мішаного насадження (а – ПЗ «Горгани», б – НПП «Сколівські Бескиди»)

Fig. 2. Shares of the number of trees in the canopy layers (a – Nature Reserve “Gorgany”, b – National Natural Park “Skole Beskyds”)

Таблиця 2. Критерії оцінки просторової структури деревостанів

Table 2. Criteria for estimating the horizontal and vertical structures of the forest stands

Назва	Індекси горизонтальної структури			Індекс видового різноманіття та диференціації		
	Кларка-Еванса, R	Донеллі, R _d	Кутовий індекс, W	Шеннона-Евеннеса, E	Диференціації дерев, T	
					діаметра	висоти
ПЗ «Горгани»	1,06	1,05	0,87	0,44	0,61	0,40
НПП «Сколівські Бескиди»	1,07	0,98	0,78	0,63	0,63	0,53

За результатами аналізу індексів горизонтальної структури досліджуваних природних старовікових насаджень заповідних територій встановлено, що для них властивий групуво-випадковий тип розміщення дерев. Такий тип розміщення притаманний природним насадженням, де тривалий час було відсутнє антропогенне навантаження та не проводили заготівлю деревини, а деревостани формувалися у природний спосіб. Індекс Шеннона вказує, що видове різноманіття для ПЗ «Горгани» є середнім, а для НПП «Сколівські Бескиди» – високим. Індекс

диференціації дерев для досліджуваних насаджень за діаметром є дуже високим, а за висотою – високим. Отримані результати вказують на гетерогенність деревостанів, які тут ростуть.

Розподіл запасу дерев у вертикальних горизонтах (ярусах) відрізняється від характеру розподілу дерев за кількістю. Для заповідних територій запас стовбурової деревини верхнього ярусу знаходиться у межах 80-90% від загального запасу насадження, тобто домінуюча частка запасу притаманна першому ярусу (рис. 3).

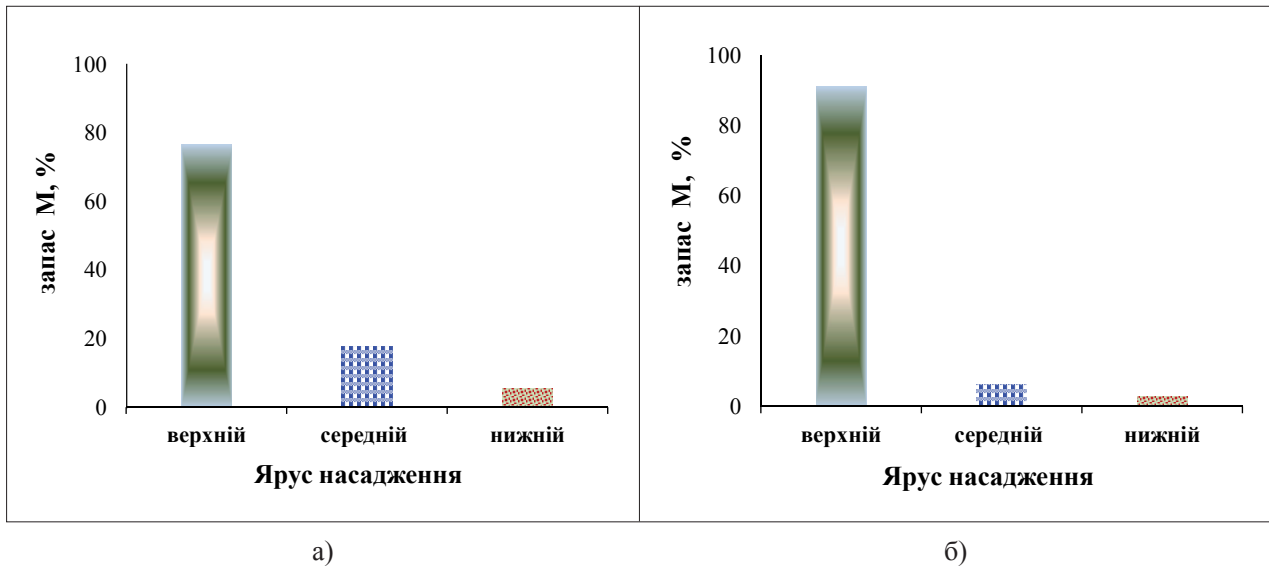


Рис. 3. Розподіл запасу за ярусами мішаного насадження (а – ПЗ «Горгани», б – НПП «Сколівські Бескиди»)

Fig. 3. Shares of growing stock in the canopy layers (a – Nature Reserve “Gorgany”, b – National Natural Park “Skole Beskyds”)

Окрім цього, певні особливості притаманні розподілу стовбурового запасу за деревними видами у розрізі висотних горизонтів або ярусів (рис. 4).

Так для ПЗ «Горгани», де переважає *Picea abies* у складі насадження, стовбуровий запас у всіх горизонтальних горизонтах (ярусах) становить в середньому близько 70%, а для насаджень НПП «Сколівські Бескиди», де переважає у складі *Fagus sylvatica* – до 55% від загального запасу ярусу.

Найбільшу частку в структурі стовбурової деревини насаджень заповідника «Горгани» станов-

лять деревостани ялини європейської – 74%, ялиці білої – 17% та бука лісового – 5%, а найменшу частку (до 1%) займають інші деревні види (береза повисла, клен-явір, клен гостролистий, горобина звичайна). Встановлено, що для вкритих лісовою рослинністю ділянок ПЗ «Горгани» щільність вуглецю стовбурової деревини на 1 га становить близько 160-180 т. Максимальну щільність вуглецю (510 тС/га) спостережено у насадженні віком 190 років (ББкЗЯц1Ял), розташованому на висоті близько 900 м н.р.м.

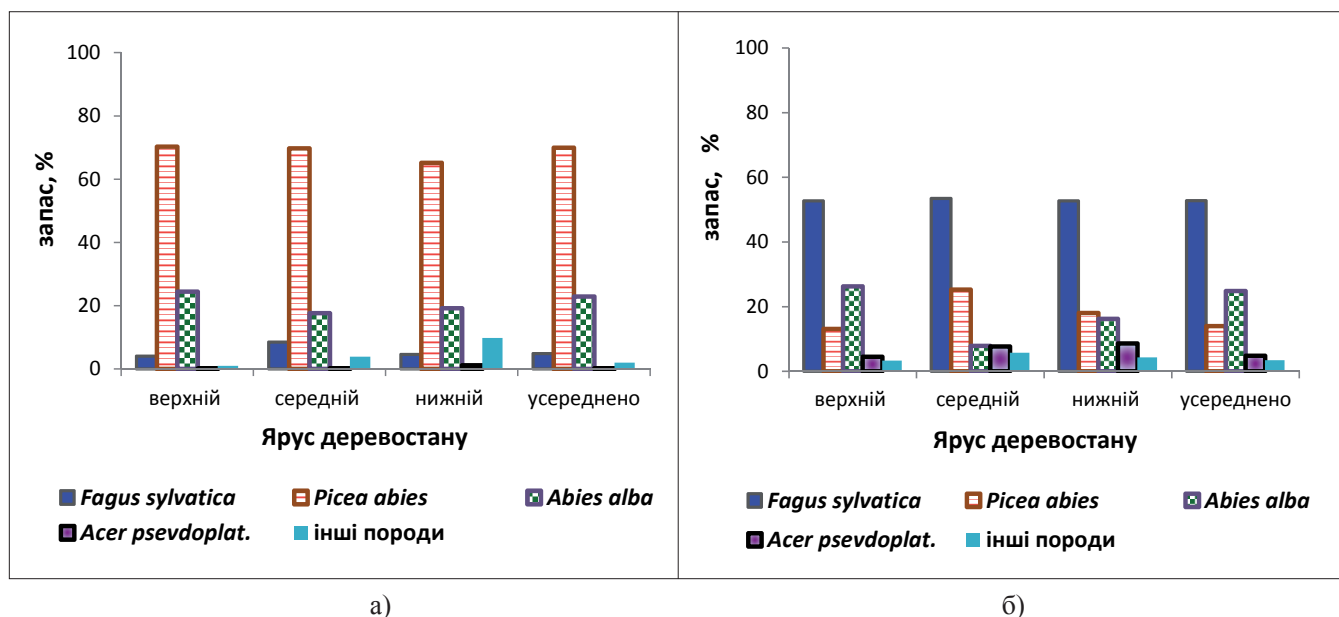


Рис. 4. Розподіл стовбурового запасу деревних порід за ярусами (а – ПЗ «Горгани», б – НПП «Сколівські Бескиди»)

Fig. 4. Shares of growing stock of the tree species in the canopy layers (a – Nature Reserve “Gorgany”, b – National Natural Park “Skole Beskyds”)

У НПП «Сколівські Бескиди» найбільшу частку в структурі стовбурового запасу насаджень становить *Fagus sylvatica* – 62%, значно меншу – *Picea abies* (16%) та *Abies alba* (13%). Інші деревні види займають незначну частку (до 5%). Щільність вуглецю стовбурової деревини на 1 га вкритих лісовою рослинністю ділянок становить близько 230-240 тС/га. Висока щільність вуглецю на 1 га (455 тС/га) виявлена для насаджень більше 150 років зі складом деревостану 8Бк2Яц + Ял на висотах 700-800 м н.р.м. Розподіл щільності вуглецю на 1 га за вертикальними ярусами наведено на рис. 5.

Щільність вуглецю стовбурової деревини є найвищою у першому ярусі і становить від 110 до 130 тС/га. Загальна щільність вуглецю у середньому для насаджень заповідної зони коливається від 220 до 280 тС/га. Диференціація щільності вугле-

цю залежить, насамперед, від просторової структури та видового складу деревостану. Максимальні значення щільності вуглецю (до 455 тС/га) спостережено у насадженнях НПП «Сколівські Бескиди», де їхній склад представлений 4-6 одиницями бука, 4-5 – ялиці та 1-2 – ялини із групово-випадковим типом розміщення дерев і таким відносним розподілом за кількістю дерев у вертикальних горизонтах: 40% перший ярус, 15% – другий, 45% – третій ярус.

Для насаджень ПЗ «Горгани» оптимальний склад насаджень залежить від висоти над рівнем моря. Так, до висоти 900 м н.р.м. у складі деревостану відзначено 5-6 одиниць ялиці, 2-3 – бука та 1-2 – ялини. Для насаджень, що ростуть вище 900 м н.р.м. склад дещо інший: 8-9 одиниць ялини, 1-2 одиниці ялиці й у домішку сосна кедрова європейська.

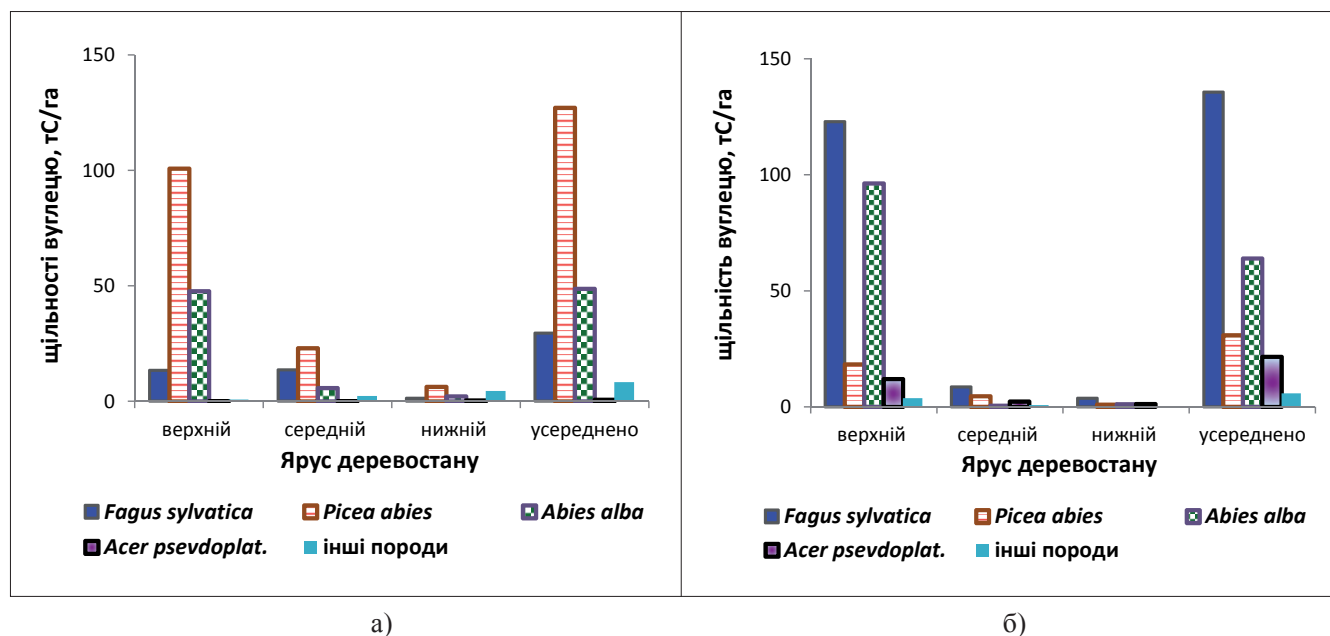


Рис. 5. Розподіл щільності вуглецю за ярусами мішаного насадження у розрізі деревних видів, тС/га (а – ПЗ «Горгани», б – НПП «Сколівські Бескиди»)

Fig. 5. Carbon stock of the tree species in the canopy layers and averaged over the tree species and the canopy layers, tC/ha (a – Nature Reserve “Gorgany”, b – National Natural Park “Skole Beskyds”)

Дискусія (Discussion). Структура лісу має вагоме значення для стабільності лісової екосистеми і є її найважливішою і фундаментальною ознакою. Просторові методи досліджень описують структуру деревостану з урахуванням відносного розташування дерев, де горизонтальна просторова структура включає сегрегацію деревних видів, ступінь диференціації їхніх розмірів, особливості розподілу та скупченість дерев, а вертикальна структура характеризує особливості розподілу деревних видів за висотними ярусами.

Встановлено, що у старовікових деревостанах заповідних територій повністю заповнені ніші вертикального діапазону (верхній, середній та ниж-

ні яруси). Для таких лісостанів властивий дифузний (біогруповий) та випадковий типи розміщення дерев і високе видове різноманіття. За результатами досліджень у природних насадженнях Українських Карпат, зокрема в мішаних ялиново-буково-ялицевих деревостанах, спостережено груповий тип розміщення особин (Гриник, 1999). Такий тип розташування дерев та високий рівень біорізноманіття притаманний і деревостанам клена-явора (Пукман, Гриник, 2013).

Просторове розміщення особин впливає на структуру нагромадження щільності вуглецю у стовбуровій фітомасі деревостану. Зокрема, розподіл запасу за вертикальними горизонтами та

горизонтальним розміщенням дерев добре корелює із щільністю вуглецю. Нагромадження вуглецю у стовбуровій частині дерева залежить, насамперед, від деревного виду та його кількісних ознак – діаметра, висоти, об'єму (Ciais et al., 2008). За результатами досліджень (Keeton et al., 2010), в ялиново-ялищевих насадженнях Горган щільність вуглецю стовбурової деревини становить в межах 220-260 тС/га. Для деревостанів Східних Бескид (Львівська обл.) максимальна щільність вуглецю у буково-дубових деревостанах становить 407 тС/га, а в ялищеві-ялиново-букових – 372 тС/га (Шпаківська, Марискевич, 2009).

За результатами наших досліджень для Горган, *Picea abies* нагромаджує до 130 тС/га, *Abies alba* – 56 тС/га, *Fagus sylvatica* – 28 тС/га. На території Сколівських Бескид запас вуглецю у старовікових деревостанах ялини становить 24 тС/га, ялиці – 98 тС/га, бука – 135 тС/га, що в середньому складає 250 тС/га.

Висновки (Conclusions). На підставі аналізу горизонтальної та вертикальної структур, індексів оцінки характеру просторового розташування дерев та видового різноманіття встановлено, що досліджувані лісостани є складними за будовою, мішаними за складом деревостану, із переважаючими випадковим або біогруповим типами розміщення дерев. Структурні особливості деревостану доцільно використовувати як індикатор для оцінювання екологічного різноманіття та стабільності екосистеми. Розподіл дерев за діаметром як для деревостанів ПЗ «Горгани», так і для НПП «Сколівські Бескиди» добре описує бімодальний розподіл, що вказує на їхню гетерогенність. Розподіл кількості дерев за вертикальними горизонтами, що ростуть на цих територіях, є неоднаковим: у верхньому ярусі зосереджено від 35 до 55% дерев, у середньому – від 20 до 30%, у нижньому – 25-40%. За видовим співвідношенням у старовікових деревостанах ПЗ «Горгани» у всіх ярусах переважає ялина європейська (від 60 до 80%), тоді як ялиця біла становить від 15 до 30%, а бук лісовий лише близько 5%.

Для насаджень НПП «Сколівські Бескиди» переважаючим деревним видом є *Fagus sylvatica*, де його відносна участь у всіх ярусах становить близько 60%. Участь у складі деревостанів інших двох лісотвірних деревних видів – *Picea abies* та *Abies alba* становить близько 20%.

Щільність вуглецю стовбурової деревини старовікових насаджень залежить від складу основних деревних видів, що формують деревостан, і змінюється у межах від 220 до 260 тС/га. Максимальні значення щільності вуглецю (до 455 тС/га) спостережено у насадженнях НПП «Сколівські Бескиди», де їхній склад представлений 5-6 одиницями бука, 3-4 одиницями ялиці та 1-2 одиницями ялини із групово-випадковим типом розташування дерев.

Список літератури (References)

- Гриник, Г.Г. (1999). Просторова структура мішаних ялиново-буково-ялищевих деревостанів Бескидів. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 9(7), 55-62 [Hrynyk, H. H. (1999). Spatial structure of mixed spruce-beech-fir stands of the Beskids. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 9(7), 55-62] (in Ukrainian)
- Клімук, Ю.В., Міскевич, У.Д., Якушенко, Д.М., Чорней, І.І., Буджак, В.В., ... Соломаха, Т.Д. (2006). *Природний заповідник «Горгани»*. Рослинний світ / за ред. В.А. Соломахи. Київ: Фітосоціоцентр [Klimuk, Y. V., Miskevich, U. D., Yakushenko, D. M., Chorney, I. I., Bujak, V. V., ... Solomakha, T. D. (2006). *Nature reserve "Gorgany". Plant world*. Kyiv: Phytosocial Center. Retrieved from http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3?doc_id=1164938] (in Ukrainian)
- Крамарець, В.О., Бандерич, В.Я., Башта, А.-Т.В., Дубина, Я.І., Кепеняк, Н.М., Климович, А.М., ... Хоєцький, П.Б. (2019). *Національний природний парк «Сколівські Бескиди»*. Львів: ЗУКЦ [Kramarets, V. O., Banderych, V. Ya., Bashta, A.-T. V., Dubyna, Y. I., Kepenyak, N. M., Klymovych, A. M., ... Khoetskyi, P. B. (2019). *"Skolivski Beskydy" National Nature Park*. Lviv: ZUKTS] (in Ukrainian)
- Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч [Lakida, P. I. (2002). *Phytomass of the forests of Ukraine*. Ternopil: Zbrutch] (in Ukrainian)
- Пукман, В.В., Гриник, Г.Г. (2013). Просторова структура та біорізноманіття явірників Українських Карпат. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 23(12), 58-67. [Pukman, V. V., & Hrynyk, H. H. (2013). Spatial structure and biodiversity of maple-sycamore stands in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 23(12), 58-67. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_12/index.htm] (in Ukrainian)
- Стойко, С.М. (2013). Букові праліси Карпат як об'єкт світової природної спадщини ЮНЕСКО. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 11, 17-24 [Stoyko, S. M. (2013). Beech primeval forests of the Carpathians as the object of world heritage list. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 17-24. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/issue/view/12>] (in Ukrainian)
- Токар, О.Є., Король, М.М., Густі, М.І. (2021). Оцінювання запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень заповідних територій Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 31(5), 42-46. [Tokar, O. Ye., Korol, M. M., & Gusti, M. I. (2021). Estimation of carbon stocks in phytomass of forest stands of protected areas in the ukrainian carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 31(5), 42-46. <https://doi.org/10.36930/40310506>] (in Ukrainian)
- Шпаківська, І.М., Марискевич, О.Г. (2009). Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 176-180. [Shpakivska, I. M., &

- Maryskevych, O.G. (2009). Estimation the reserves of organic carbon in the forest ecosystems of Eastern Beskydy. *Forestry and Forest Melioration*, 115, 176-180. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/16438> (in Ukrainian)
- Baycheva-Merger, T., & Wolfslehner, B. (2016). Evaluating the implementation of the Pan-European Criteria and indicators for sustainable forest management – A SWOT Analysis. *Ecological Indicators*, 60, 1192-1199. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.009>
- Castañeda, F. (2000). Criteria and indicators for sustainable forest management: International processes, current status and the way ahead. *Unasylva*, 51(203), 34-40. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/285783828_Criteria_and_indicators_for_sustainable_forest_management_International_processes_current_status_and_the_way_ahead
- Cherniavskiy, M.V. (2021). Research of virgin forest in Nature Reserve “Gorgany”. The Main Problems and Trends in the Development of Protected Areas in the Ukrainian Carpathians. Proceedings of the International Scientific Practical Conference dedicated to the 25th anniversary of the Gorgany Nature Reserve establishment. (Nadvirna, Ukraine, 16-17th September 2021). – Ivano-Frankivsk: Symphony forte
- Ciais, P., Schelhaas, M., Zaehle, S., Piao, S.L., Cescatti, A., Liski, J., ... Nabuurs, G.J. (2008). Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1, 425-429. <https://doi.org/10.1038/ngeo233>
- Diggle, P.J. (2013). *The statistical analysis of spatial point patterns*. London: Academic Press
- Gadow, K., Hui, G., Chen, B.W., & Albert, M. (2003). Beziehungen zwischen Winkelmaß und Baumabständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 122, 127-137 [Gadow, K., Hui, G., Chen, B.W., & Albert, M. (2003). Relationships between angular measure and tree distances. *Forest Science Centralblatt*, 122, 127-137. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0337.2003.00127.x>] (in German)
- Gadow, K. (2001). *Waldwachstum*. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Georg-August-Universität Göttingen [Gadow, K. (2001). *Forest growth*. Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology Georg-August University of Göttingen] (in German)
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., Elzen, L., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7, 220-226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Hlásny, T., Barka, I., Kulla, L., Bucha, T., Sedmák, R., & Trombik, J. (2017). Sustainable forest management in a mountain region in the Central Western Carpathians, northeastern Slovakia: the role of climate change. *Regional Environmental Change*, 17(1), 65-77. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-015-0894-y>
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., & Beierkuhnlein, C. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526, 574-577. <https://hdl.handle.net/1887/55383>
- Keeton, W.S., Chernyavskyy, M., Gratzer, 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*, 144(1), 148-159. <https://doi.org/10.1080/11263500903560512>
- Lakida, P., Nilsson, S., & Shvidenko, A. (1996). Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European U.S.S.R. *Biomass and Bioenergy*, 11(5), 371-382.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., & Garcia-Gonzalo, J., ... Marchetti, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698-709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- Nabuurs, G.-J., Verkerk, P.J., Schelhaas, M.-J., Olabaria, J.R.G., Trasobares, A., & Cienciala, E. (2018). *Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions*. Retrieved from <https://efi.int/publications-bank/climate-smart-forestry-mitigation-impacts-three-european-regions>
- Pretzsch, H. (2001). *Modellierung des Waldwachstums*. Berlin: Parey Buchverlag
- Tokar, O., Lesiv, M., & Korol, M. (2014). Information technology for studying carbon sink in stemwood of forest ecosystems. *ECONTECHMOD: An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes*, 3(1), 113-120. Retrieved from <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-58c7770a-e79c-4bdf-a060-c828823f5301>

The structure and stem carbon of natural forest stands in the protected territories of the Ukrainian Carpathians

M. Korol¹, O. Tokar², M. Gusti³, S. Portakh⁴,
B. Nagornyak⁵, V. Pryndak⁶, V. Zeman⁷, V. Kramarets⁸

Results of the study of the spatial structure of primary forest stands and carbon stock in living biomass of the stands are presented. The spatial structure of the forest stands, being the result of the processes of growth and development of forest stands in a system of complex interactions, has a major impact on the formation of the adaptive potential of the forests. At the same time, studying the peculiarities of the spatial structure of forest stands in the context of the effectiveness of providing ecosystem services, it should be noted that increasing the resilience and adaptive potential of forests to extreme climatic events and natural disturbances is an important element of the sustainable development of mankind.

The principles of forest management in the Ukrainian Carpathians must meet the pan-European criteria and indicators of sustainable forest management, as well

as the principles of “climate-smart forestry”. Where climate-smart forestry is the newest form of sustainable forest management aimed at effective management in the face of global climate change.

Carbon stock in the stems in the forest stands is estimated for each tree of the test plot using tree species specific wood density. Spatial and age structure, and growing stock of the forest stands were determined on circular test plots with a fixed area of 500 m². The coordinates of the centers of the plots were estimated with a GPS navigator. The vertical structure of the forest stands is estimated as a share of forest vegetation occupied by respective layer. The horizontal structure of the forest stands is estimated applying such indicators as location of trees (positioning) on the test plots, variability of tree diameters and heights. Species diversity is estimated with the Shannon index (E) and the tree differentiation index (T). The type of tree location is estimated based on the analysis of such indices as Clark-Evans index (R) and its modification according to Donnelly, the angular index (W).

The study found that the main forest-forming species in the protected areas are local, namely beech, fir, and spruce. Differentiation of trees by degrees of thickness follows a bimodal distribution and high variability in diameter and height is observed that indicates the heterogeneity of the parameters. Vertical distribution of the growing stock is not uniform and the upper layer on average contains about 80% of the total growing stock and about 40% of the total number of trees per ha. The horizontal allocation of the trees is random, and the differentiation index is high, more than 0.60 by diameter. Carbon density in the studied forest stands ranges from 170 t/ha to 250 t/ha with the greatest amount in the first horizontal layer.

Key words: spatial structure of forest stand; differentiation of trees; carbon sequestration; stem carbon

density; growing stock dynamics; tree species diversity; forest-forming species.

- ¹ *Mykola Korol* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-670-20-55. E-mail: nikkorol@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9023-0840>
- ² *Olha Tokar* – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of International Information. Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery st., Lviv, 79013, Ukraine. Tel.: +38-066-270-11-40. E-mail: tokarolya@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-2472>
- ³ *Mykola Gusti* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of International Information. Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery st., Lviv, 79013, Ukraine. Tel.: +38-067-169-02-71. E-mail: kgusti@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2576-9217>
- ⁴ *Stepan Portakh* – Assistant of the Department of Forest Taxation and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-0685045265. E-mail: portakh@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5172-6640>
- ⁵ *Bohdan Nagornyak* – Assistant at the Department of Forest Taxation and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-068-536-42-42. E-mail: bnahornjak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>
- ⁶ *Vasyl Pryndak* – Director of the Skolivski Beskydy NPP, 3 Knyazya Svyatoslava st., Skole, Lviv region, 82600, Ukraine. Tel.: +38-095-632-61-64. E-mail: pryndak@ukr.net
- ⁷ *Vitaly Zeman* – Director of the Boykivshchyna NPP, 32 Voiniv UPA st., vil. Borynya, Lviv region, 82547, Ukraine. Tel.: +38-032-260-04-08. E-mail: npp_bojkivschyna@ukr.net
- ⁸ *Volodymyr Kramarets* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-050-571-0960. E-mail: v_kramarets@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5978-3711>