

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ БУКОВОГО (*Fagus sylvatica* L.) ПРАЛІСУ В КОНТЕКСТІ КЛІМАТИЧНО ОРІЄНТОВАНОГО ЛІСІВНИЦТВА

Ю. С. ШПАРИК, доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник

<http://orcid.org/0000-0001-8047-6356>, e-mail: yuriy.shparyk@pu.if.ua

Р. М. ВІТЕР, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
e-mail: viterm@ukr.net

В. Ю. ШПАРИК, кандидат біологічних наук
e-mail: viktorshparyk@gmail.com

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»

Кліматично орієнтоване лісівництво (*Climate Smart Forestry*) – це нова концепція у лісівництві, завданням якої є зменшення негативного впливу змін клімату на лісове господарство та розроблення довго-термінової стратегії ведення лісового господарства з урахуванням змін клімату та впливу стихійних явищ. Структурні зміни пралісів є природною реакцією на зміну клімату, і їх вивчення є важливим у контексті кліматично орієнтованого лісівництва. Динаміку буково-вого пралісу Українських Карпат вивчали з 2000 до 2015 р. на 10-гектар-ному дослідному об'єкті за узгодженими з IUFRO методиками спільно з Швейцарським НДІ снігу, лісу та ландшафту (WSL). Кліматичні зміни (збільшення суми активних температур на 22 % і зменшення кількості опадів на 46 %) встановлено за даними Угольського метеопоста Карпатського біосферного заповідника, а вплив вітровалів – за даними чотирьох інвентаризацій. Результати міжнародних досліджень виявили достовірні зміни окремих показників пралісу на фоні загальної стабільності його структури. Збільшення густоти дерев на 60 % (з 278 до 445 шт./га), а приросту бука за діаметром – на 37 % (з 0,26 до 0,36 см/рік) і поява чотирьох нових порід (дуб скельний, черешня, горобина, верба козяча) були змінами, які неможливо пояснити внутрішньою динамікою пралісу. Стабільність суми площ поперечного перерізу пралісу вказує на те, що причиною цих змін були зовнішні фактори, зокрема – зміна лісорослинних умов. Аналіз структурних змін пралісу дав можливість підготувати пропозиції для кліматично орієнтованого лісівництва в букових лісах Східних Карпат: для запобігання втратам деревини внаслідок стихійних явищ необхідно під час рубок у першу чергу видаляти пошкоджені дерева та з неправильною формою крони; для формування корінного деревостану через природне відновлення

доцільно зменшити розміри прогалин при рубках до 1–2 дерев основного ярусу; для збереження в породному складі тих порід, в яких погіршується життєвість, необхідно запобігти їх пошкодженню під час проведення рубок; для регулювання запасу деревини доцільно збільшити інтенсивність рубок на 15 %.

Ключові слова: зміна лісорослинних умов, деревостан, густина дерев, приріст за діаметром, підріст, поява нових порід.

Актуальність. Глобальні зміни клімату вже офіційно зареєстровані на рівні ООН, а про їх небезпеку йде мова ще з часів всесвітнього форуму в Ріо-де-Жанейро 1992 р. (UNFCCC, 2015). Про потребу у відповідній зміні лісівничих заходів для адаптації лісів до змін клімату в останні роки зазначають багато вчених, оскільки залежно від типу лісу реакція деревостану може бути кардинально різною – від масового всихання ялинових лісів, які виявилися нестійкими до такого різкого зменшення вологості клімату, до збільшення площ і запасів букових лісів, які ще не відчувають лімітуючого впливу змін клімату (D’Amato et al., 2011; Pretzsch et al., 2014; Didukh et al., 2016; Shparyk, 2016; Kauppi et al., 2018; Nabuurs et al., 2018; Shparyk et al., 2018a). Одну з новітніх систем ведення лісового господарства, яка має назву «кліматично орієнтоване лісівництво» (Climate-Smart Forestry), зараз активно розробляють саме як реакцію лісового господарства на критичні зміни лісорослинних умов, які є наслідком глобальних змін клімату (Kauppi et al., 2018; Nabuurs et al., 2018). А для розуміння напрямів та особливостей майбутніх змін у лісах необхідно ідентифікувати їх на прикладі наявних в окремих лісорослинних районах природних лісів, а найкраще – пралісів, бо в основі їхньої динаміки лежать механізми адаптації конкретного деревостану в конкрет-

них типах лісу. І ці механізми дають змогу природним лісам змінювати свою структуру залежно від чинників, які на них впливають у даний момент і при цьому не знижувати свою продуктивність та підтримувати свою стійкість (Gayer, 1882; Biolley, 1901; Zlatnik et al., 1938; Korpel, 1995; Hobi et al., 2015; Shparyk et al., 2018b).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчення пралісів Європи мало місце вже з середини XIX ст., і результати цих досліджень лягли в основу системи вибіркового лісівництва, яке базується на використанні природного відновлення пралісу, а його мета – це формування структури деревостану, близької до пралісу (Gayer, 1882; Biolley, 1901). Вже понад 100 років ця система лісового господарства є однією з найкращих за лісівничою ефективністю. Вивчення пралісів Українських Карпат розпочалося наприкінці XIX ст., мало перерву в період Другої світової війни, але відновилося в 1950-х і стало масовим в останні два десятиліття. Більшість учених акцентують увагу на механізмі самопідтримання життєвості пралісів, який забезпечує формування відповідної до типу лісу структури та породного складу деревостану навіть за умови суттєвого впливу зовнішніх факторів, а це або кліматичні, або стихійні впливи (Stojko, 2006; Shparyk et al., 2010; Trotsiuk et al., 2012; Pretzsch et al., 2014; Hobi et al., 2015; Didukh et al., 2016; Shparyk et al., 2018b; Stillhard et al.,

2019). Це означає, що вивчення структурних змін пралісу за останні роки має бути теоретичною базою для корегування лісівничих заходів у контексті останніх кліматичних змін десятиліть.

Мета дослідження – ідентифікація змін букового пралісу Українських Карпат за останні роки, визначення їх взаємозв'язків із факторами, які впливають на динаміку пралісу, та підготовка окремих положень для ведення лісового господарства в регіоні з урахуванням змін клімату (для кліматично орієнтованого лісівництва). Завдання дослідження передбачали: розрахунок основних показників букового пралісу за даними чотирьох інвентаризацій (з 2000 до 2015 р.); аналіз поточного приросту за діаметром дерев бука лісового з різними показниками; визначення напрямів змін у структурі букового пралісу; ідентифікацію причин виявлених змін букового пралісу; підготовку пропозицій для зменшення впливу змін клімату на букові ліси Карпат.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом досліджень був буковий (*Fagus sylvatica* L.) праліс Угольського відділення Карпатського біосферного заповідника на площі 10 га. Предметом досліджень були структурні зміни пралісу за період між інвентаризаціями. Прямокутну (200 на 500 м) ділянку пралісу було розділено на сорок ($50 \times 50 \text{ м} = 0,25 \text{ га}$) квадратних постійних пробних площ, і на кожній проведено чотири інвентаризації живих дерев, лежачої деревини та підросту в 2000, 2005, 2010 і 2015 рр. Роботи проводили в рамках співпраці зі Швейцарським федеральним науково-дослідним інститутом лісу, снігу та ландшафту (WSL) і за методикою цього інституту (Shparyk et al., 2010). У стоячих дерев (із діаметром 6 см на висоті 1,3 м) визначали: стан; по-

роду; діаметр основний і додатковий; шість класів IUFRO; ступінь розкладу (для сухостою); три найбільш суттєві примітки (пошкодження). Для модельних дерев (більше ніж 200 шт.) додатково визначали: висоту дерева; висоту початку крони; діаметр стовбура на висоті 7 м. А для колод лежачої мертвої деревини (з діаметром у тонкому кінці більше ніж 8 см і за довжини більше як 2 м): діаметр на середині колоди; довжину колоди; ступінь розкладу. Діаметр дерев заміряли мірною вилкою з точністю до мм, висоту – лазерним висотоміром із точністю до дециметра, а горизонтальні та вертикальні кути – бусоллю. Інвентаризація природного відновлення (підріст вище ніж 10 см і тонше ніж 6 см на висоті 1,3 м) реалізована на 160 постійних кругових майданчиках (кожен площею 20 м^2), тобто на 3,2 % території ділянки. Підріст за висотою розділяли на три групи за його висотою: дрібний (діапазони – 10–20 і 20–30 см); середній (30–50, 50–70, 70–90 і 90–130 см); високий (130–300 і вище ніж 300 см). Висоту підросту заміряли мірною лінійкою, діаметр – штангенциркулем. За результатами польових робіт сформовані відповідні електронні таблиці (деревостан, мертва лежача деревина, підріст) у середовищі програми MS Excel, де і проведено всі розрахунки.

Результати дослідження та їх обговорення. Результати досліджень букових пралісів Українських Карпат, які ми вже опублікували (Shparyk et al., 2010, 2018a, 2018b; Stillhard et al., 2019), дали підставу говорити про: дуже складну просторову (3–5 ярусів) і вікову (від 1 до 400 років) їхню структуру, яка зумовлена спадним розподілом дерев за діаметром у діапазоні від 6 до 132 см; незначну мінливість основних показників пралісових екосистем на-

віть за катастрофічного впливу стихійних явищ (вітровали 2007 та 2011 рр.); максимальну природність (майже без антропогенного впливу) динаміки пралісу за останні 50 років – тільки відповідно до змін лісорослинних умов. Більшість показників букового пралісу з 2000 до 2015 р. змінилися несуттєво – мінливість тільки кількості дерев ($v = 20\%$) та запасу мертвої лежачої деревини ($v = 11\%$) перевищила 1 відсоток. При цьому динаміка окремих показників була неоднаковою (рис. 1).

Кількість дерев постійно зростає і особливо інтенсивно після вітровалів 2007 та 2011 рр. Запас деревостану також зменшився після вітровалу 2007 р., але вже до 2015 р. цей показник почав відновлювати своє попереднє значення. майже немає мінливості у двох показників: частка бука за запасом має варіацію на рівні 0,00 %, а сума площ поперечного перерізу (СППП) – 0,02 %. Запас мертвої лежачої деревини має тенденцію до зростання в цей період із різким зростанням після вітровалу 2007 р. Середні діаметр і висота мають

зворотну тенденцію: їх зменшення після 2007 р. перевищило 20 %, хоча до вітровалу вони майже не змінювалися. Кількість підросту теж зменшилася після вітровалу у зв'язку з його пошкодженням і переходом у склад деревостану пралісу, але до 2005 р. його кількість зростала. Зауважимо, що одразу чотири нові породи (дуб скельний (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), черешня (*Prunus avium* L.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.) та верба козяча (*Salix caprea* L.)) з'явилися в **породному складі** букового пралісу після 2007 р. Це дає підставу говорити, що причинами змін густоти дерев і породного складу пралісу в 2010 і 2015 рр. були природні умови: вітровал 2007 р.; збільшення суми активних температур (за даними Угольського ПНДВ – на 22 %); зменшення кількості опадів (за даними Угольського ПНДВ – на 46 %) (Shparuk et al., 2018a, 2018b). Важливо і те, що ознак антропогенного втручання (рубка дерев, заготівля недеревної продукції, випас або рекреація) в структурі пралісу за цей період не помічено.

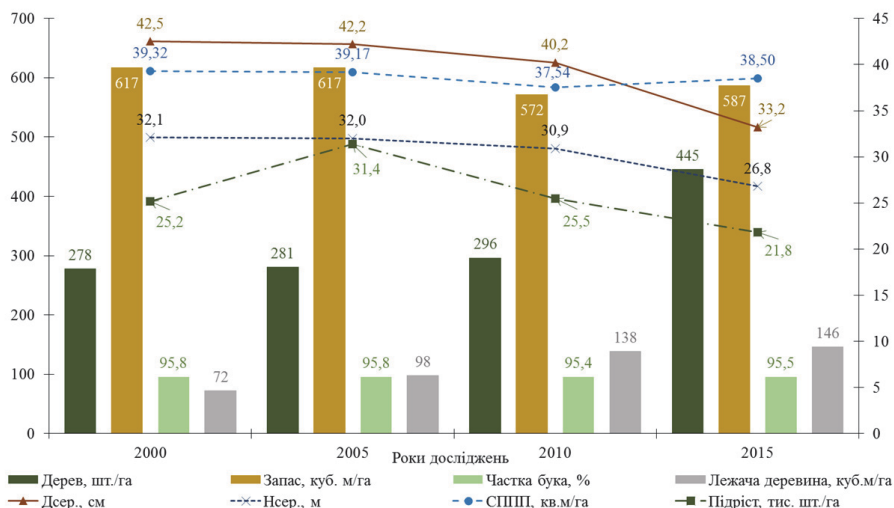


Рис. 1. Динаміка основних показників букового пралісу (шкала стовпчастих діаграм – зліва, лінійних – справа)

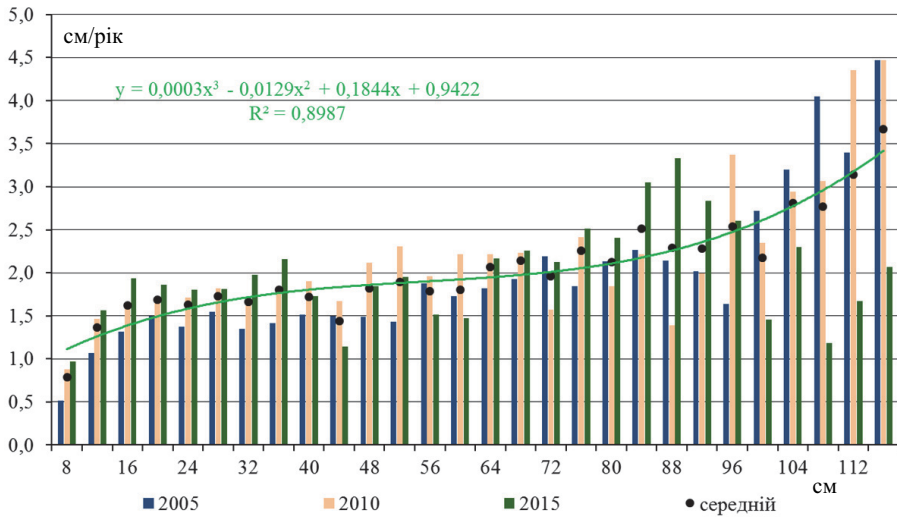


Рис. 2. Зміни приросту за діаметром у буковому пралісі

Така динаміка зумовила потребу в аналізі зміни кількісних показників пралісу в цей період на прикладі приросту дерев за діаметром, який був проведений для 2450 дерев бука. Розрахунки свідчать, що існує тенденція до збільшення значень приросту за діаметром кожні 5 років: у 2005 р. середньорічний приріст за діаметром бука склав 0,26 см/рік, у 2010 – 0,32, а в 2015 – 0,36 см/рік (його коефіцієнт варіації коливається від 80 до 90 %). Тобто з 2000 до 2015 р. для букового пралісу встановлено однозначну тенденцію до збільшення приросту за діаметром, яке сумарно склало 37 відсотків. Значно вище зростання приросту після 2005 р., ніж після 2010 (21,0 % проти 13,5 %), пояснюється зрідженням деревостану пралісу після вітровалу 2007 р. і відповідним покращенням освітленості дерев бука, які продовжували рости та різко збільшили приріст.

При цьому, динаміка приросту за діаметром дерев букового пралісу в різних ступенях товщини неоднорідна (рис. 2). Після вітровалу 2007 р.

його значення збільшилося майже на всіх ступенях товщини, за винятком окремих ступенів великого діаметра – 80, 88, 100, 104 і 108 см. Найбільшим у відсотковому відношенні це зростання було на ступенях товщини 8, 48, 52 і 96 см, і зауважимо, що саме на ступенях товщини 48 і 52 см мали місце найбільші втрати запасу деревини внаслідок вітровалу. Тобто, вітер звалив значну кількість дерев саме з діаметром близько 50 см, а дерева такого діаметра, які залишилися рости, найбільш суттєво збільшили свій приріст за діаметром, бо вони отримали достатньо простору за рахунок звалених дерев. Покажемо є і те, що в 2015 р. приріст дерев на тонких ступенях товщини продовжував зростати, тоді як у дерев з діаметром 40 см він суттєво зменшився. Це означає, що тонкі дерева навіть на восьмий рік після вітровалу ще мають достатньо простору для свого росту, а товсті дерева – вже закрили своїми кронами утворені вітром прогалини в наметі, й тому їхній приріст зменшився.

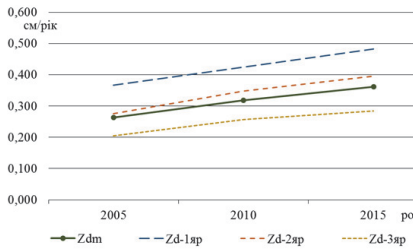
1. Динаміка середнього діаметра різних порід букового пралісу

Деревний вид	За роками спостережень			
	2000	2005	2010	2015
Бук лісовий	42,2	41,9	40,2	35,1
Дуб скельний	-	-	-	6,7
Ясен звичайний	72,4	73,8	78,0	60,4
Клен-явір	53,2	48,2	40,7	23,7
Клен гостролистий	32,2	32,0	23,6	11,8
Ільм (в'яз шорсткий)	28,4	27,8	21,4	11,9
Черешня	-	-	8,3	8,4
Горобина звичайна	-	-	-	6,6
Разом:	42,5	42,2	40,2	33,2

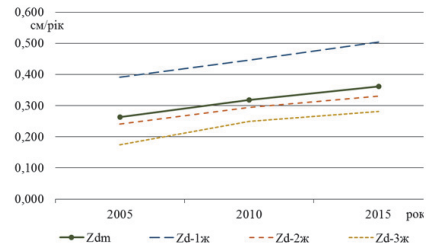
Розрахунок середнього приросту за діаметром у буковому пралісі дає змогу говорити про достатньо тісну поліноміальну (третього порядку) його залежність від діаметра (див. рис. 2). І якщо в дерев із діаметром 8 см цей приріст становить лише 1 см/рік, то для діаметра 40–90 см він дорівнює вже 2, а з діаметром більше ніж 108 см – перевищує 3 см/рік. Також розрахунки свідчать, що існує тенденція до збільшення значень приросту за діаметром кожні 5 років, хоча і наразі це зростання ще не перевищує для більшості ступенів товщини 10 %. Разом із цим, аналіз динаміки середніх діаметрів різних порід букового пралісу за формою табл. 1 підтверджує загальновідоме положення про складну структуру пралісу за діаметром і ще більше ускладнює розуміння процесів, які відбуваються у пралісі. Зокрема, бук лісовий, який більше як на 95 відсотків формує деревостан пралісу і коливання діаметрів дерев якого мають місце від 6 до 132 см, має тільки третє місце за величиною середнього діаметра (біля 40 см) і чітку тенденцію до його зменшення – сумарно на 17 %. Найбільший середній

діаметр має ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), і це одна порода у пралісі з позитивним приростом за діаметром до 2010 р. Друге місце за середнім діаметром у пралісі має клен-явір (*Acer pseudoplatanus* L.), і динаміка його діаметра також негативна, особливо після 2010 р., – за весь період зменшення становило 55 %. Клен гостролистий (*Acer platanoides* L.) та ільм (*Ulmus glabra* Huds.) мають подібні до явора показники, тільки значення їхніх діаметрів менші (відповідно 24 і 22 см), а інтенсивність зменшення діаметра – трохи вища (відповідно 64 і 58 %).

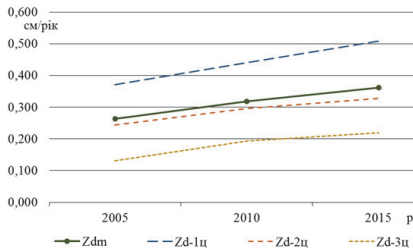
Для аналізу процесів формування приросту в буковому пралісі проведено розрахунки його значень тільки для дерев бука, але різних за: розташуванням у ярусах; життєвістю; положенням у ярусі; лісогосподарською цінністю; товарністю деревини; довжиною крони. Спочатку було оцінено взаємозв'язки приросту з цими показниками: найвищий коефіцієнт кореляції отримано для номеру ярусу, в якому розташовані дерева, – це середня негативна кореляція ($r = -0,323$); найменший коефіцієнт кореляції отримано для довжини крони дерев – це низька



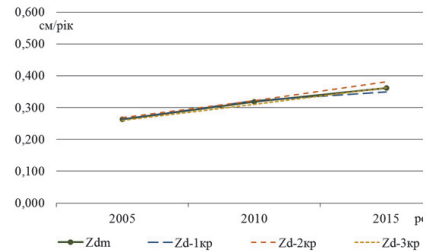
а) яруси: 1яр – перший, 2яр – другий, 3яр – третій;



б) життєвість: 1ж – висока, 2ж – добра, 3ж – погана;



в) лісгосподарська цінність: 1ц – елітні дерева, 2ц – корисні дерева, 3ц – шкідливі дерева;



г) довжина крони: 1кр – довга (>0,5H), 2кр – середня (0,25H < N < 0,5), 3кр – коротка (<0,25H);

Рис. 3. Порівняння приросту за діаметром дерев бука різних показників із середнім його значенням (Zd_m)

негативна кореляція ($r = -0,087$); для інших показників теж властива низька негативна кореляція, але самі коефіцієнти кореляції вже значно вищі (для життєвості $r = -0,289$, для положення в ярусі $r = -0,215$, для лісгосподарської цінності $r = -0,274$, для товарності $r = -0,230$). Для найбільш показових показників динаміка приросту за діаметром подано на рис. 3. Отримані результати свідчать, що для більшості проаналізованих показників виявлені відмінності у їхньому прирості за діаметром: за погіршення значення цих показників приріст за діаметром зменшується (див. рис. 3а, 3б, 3в). Виняток становить тільки довжина крони: приріст за діаметром дерев бука з різною довжиною крони майже не відрізняється (див. рис. 3г).

За абсолютними величинами найбільший приріст за діаметром у період спостережень мали дерева бука високої життєвості, несуттєво менша його величина для елітних дерев бука, а найменша – для дерев бука першого ярусу. Зате тільки для дерев другого ярусу величина приросту за діаметром все ще більша, аніж середня його величина, і відмінності між трьома ярусами за цим показником достовірні та приблизно однакові. Для життєвості достовірні відмінності за величиною приросту за діаметром також наявні між всіма трьома класами, але для другого класу його значення менші за середнє. Тоді як для лісгосподарської цінності достовірні відмінності за величиною приросту за діаметром наявні тільки

між першим і другим їх класом, а між другим і третім – вони недостовірні.

Динаміка породного складу деревостану букового пралісу не повністю відповідає динаміці породного складу його природного відновлення за останні роки. Якщо у складі природного відновлення в 2005 р. з'явилася черешня, а в 2010 – горобина звичайна, то в деревостані в 2010 р. з'явилася черешня, а в 2015 – одразу три нові породи (дуб скельний, горобина звичайна, верба козяча). Тобто поява черешні й горобини в породному складі деревостану пралісу є закономірною, бо ще 5 років тому ці породи з'явилися у природному відновленні. Але поява дуба скельного і верби козячої в деревостані не була підготовлена їхньою появою у природному відновленні, а це ще раз підтверджує класичне положення щодо високої мозаїчності структури пралісу. Навіть охоплення обліком природного відновлення 3,2 % площі дослідного об'єкта не дало змоги повністю охопити все різноманіття відновних процесів такого складного деревостану.

Аналіз змін букового пралісу з 2000 до 2015 р. дав підстави говорити про високу стабільність цієї лісової екосистеми, оскільки мінливість переважної більшості її таксаційних показників була слабкою (запас стоячої та мертвої лежачої деревини, середні діаметр в висота), а для частки бука в породному складі та суми площ поперечного перерізу – її майже не було. Особливу значущість це має на тлі суттєвих змін у кількості опадів та сумі активних температур, і – вітровалів 2007 і 2011 рр. Це означає, що, навіть за наявності катастрофічних стихійних явищ, структура пралісу змінилася несуттєво. З іншого боку, зміни пралісу все-таки мали

місце, і без антропогенного впливу характер цих змін є природним, що і підтверджує високу значущість пралісів для вивчення кліматично зумовлених змін у лісах регіону.

Основні зміни у структурі пралісу були неоднозначними в цей період, що, на нашу думку, є наслідком високої мозаїчності пралісових екосистем. Наприклад, однією з достовірних змін пралісу було збільшення кількості дерев, станом на 2015 р. воно склало $\approx 60\%$. Базовою причиною цього стали вітровали 2007 і 2011 рр., які призвели до втрати відповідно 14 і 4 % дерев першого ярусу і до утворення прогалін у наметі. Динаміка кількості дерев підтверджує це твердження: у 2005 р. її збільшення становило лише 1 %, у 2010 (підріст тільки почав «заповнювати» вітровальні прогалини) – 6 %, а в 2015 (прогалини вже повністю заросли новими деревами) – більше ніж 50 %. Але потрібно звернути увагу також на просторове розташування нових дерев: з обстежених 40 пробних площ втрати понад 10 % дерев першого ярусу під час вітровалів були тільки на 23, а кількість дерев суттєво зросла на 38 пробних площах. Тобто є також інша причина збільшення кількості дерев у пралісі (на 15 із 40 пробних площ) і очевидно – це потепління клімату, яке підвищило конкурентоспроможність бука і дало змогу виживати більшій кількості його дерев на одиниці площі.

Наступна суттєва зміна у пралісі – це постійне збільшення приросту дерев бука за діаметром за весь період спостережень (у 2010 р. – на 21%, у 2015 – на 14 %). Це явище не є характерним для пралісу, який у науці трактується як найбільш стабільну лісову екосистему, і тому зростання приросту

більш як на 1/3 потребує пояснення. Спочатку зауважимо, на якому фоні відбулося це збільшення: зростає густина дерев, зменшуються середній діаметр і висота дерев, сума площі поперечного перерізу та запас деревини коливаються несуттєво, вітровали 2007 і 2011 рр. утворили прогалини в основному наметі, зменшується кількість опадів, зростає сума активних температур. Це означає, що поява значної кількості тонких (від 6 до 10 см за діаметром) дерев, які не дали змогу суттєво зменшити суму площі поперечного перерізу та запас деревини, відповідно до таксаційних закономірностей мала привести до зменшення приросту за діаметром. А логічним поясненням постійного зростання приросту за діаметром є покращення лісорослинних умов для бука, як із позицій потепління, так і внаслідок покращення освітленості крон після вітровалів.

Ще однією неочікуваною зміною у структурі букового пралісу стала поява нових деревних порід як у складі деревостану (дуб звичайний, черешня, горобина звичайна, верба козяча), так і у природному відновленні (черешня, горобина звичайна). Найбільш достовірним поясненням цього явища є зменшення конкурентоспроможності порід, які раніше формували праліс, порівняно з породами, що з'явилися. Підтверджують це пояснення і результати досліджень за класами IUFRO: наприклад, життєвість бука з 2000 до 2015 р. погіршилася з 1,92 до 1,98, і це особливо значущо на тлі зменшення частки дерев у третьому ярусі (з 2,26 до 2,11) та збільшення довжини крони дерев бука (з 4,65 до 4,27). Якщо зміни структури не призвели до суттєвого погіршення життєвості бука, то поява нових порід відбулася внаслідок зміни лісорослинних умов (змін клімату).

Висновки і перспективи. Загалом, зміни букового пралісу в період з 2000 до 2015 р. навіть за наявності катастрофічних стихійних впливів (вітровали 2007 і 2011 рр.) були несуттєвими: породний склад, сума площі поперечного перерізу та запас деревини коливалися дуже слабо ($v < 1\%$). Але окремі зміни пралісу (збільшення густоти дерев, збільшення приросту за діаметром, поява нових порід в складі) були суттєвими, і саме стабільність пралісу вказує на те, що причиною цих змін були зовнішні фактори, зокрема – зміна лісорослинних умов. При цьому, зміни лісорослинних умов нині ще не є критичними для букового пралісу, бо його механізми саморегуляції забезпечують підтримання структури пралісу в попередньому стані. Однак виявлені істотні зміни є підставою говорити про буковий праліс як модель адаптації букових лісів Українських Карпат до глобальних змін клімату.

Результати вивчення динаміки структури букового пралісу дали змогу підготувати такі пропозиції для кліматично орієнтованого лісівництва в букових лісах Карпат: для запобігання втратам деревини внаслідок стихійних явищ необхідно під час рубок у першу чергу видаляти пошкоджені дерева та з неправильною формою крони; для формування корінного деревостану через природне відновлення доцільно зменшити розміри прогалин при рубках до 1–2 дерев основного ярусу; для збереження в породному складі тих порід, в яких погіршується життєвість, необхідно запобігти їх пошкодженню при проведенні рубок; для регулювання запасу деревини доцільно збільшити інтенсивність рубок на 15 % або відповідно зменшити інтервали між рубками.

Подяка. Автори висловлюють щирю подяку всім колегам за допомогу в проведенні польових досліджень і за цінні зауваження до статті.

Список літератури

- Biolley, H. (1901). Le Jardinage cultural. *Journal Forestie Suisse*, 6 (52), 97–104.
- D'Amato, A. W., Bradford, J. B., Fraver, S., Palik, B. J. (2011). Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *Forest Ecology and Management*, 262, 803–816.
- Didukh, Y. P., Chornej, I. I., Budzhak, V. V., Tokaryuk, A. I., Kish, R. Y., Protopopova, V. V., ... Norenko, K. M. (2016). *Climatogenic changes of the plant world of the Ukrainian Carpathians*. Chernivtsi: Druk ART [in Ukrainian].
- Gayer, K. (1882). *Der Waldbau*. 2nd ed. Berlin: Verlag von Paul Parey, 592.
- Hobi, M. L., Commarmot, B., Bugmann, H. (2015). Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). *Journal of Vegetation Science*, 26, 323–336.
- Kauppi, P., Hanewinkel, M., Lundmark, T., Nabuurs, G. J., Peltola, H., Trasobares, A., Hetemäki, L. (2018). *Climate Smart Forestry in Europe*. European Forest Institute. Retrieved from https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Climate_Smart_Forestry_in_Europe.pdf.
- Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Stuttgart, Jena, New York: G. Fischer, 310.
- Nabuurs, G.-J., Verkerk, P. J., Schelhaas, M.-J., Olabarria J. R. G., Trasobares, A., Cienciala, E. (2018). *Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions*. Retrieved from https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_6_2018.pdf.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Bielak, K. (2014). Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*, 316, 65–77.
- Shparyk, Y. S. (2016). *Sustainable forest management (on example of Ukrainian Carpathians)*. Ivano-Frankivsk: Terytorija druku [in Ukrainian].
- Shparyk, Y. S., Berkela, Y. Y., Viter, R. M., Losiuk, V. P. (2018a). Main types of forest stands dynamics in the Ukrainian Carpathians. *Nature of the Carpathians: Annual Scientific Journal of CBR and the Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine*, 1 (3), 50–57 [in Ukrainian].
- Shparyk, Y. S., Commarmot, B., Berkela, Y. Y. (2010). *Structure of the Ukrainian Carpathians beech virgin forest*. Snjatyn: Prutprynt [in Ukrainian].
- Shparyk, Y. S., Viter, R. M., Shparyk, V. Y. (2018b). Influence of natural factors on the dynamics of the beech (*Fagus sylvatica* L.) virgin forest of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU of Ukraine*, 28 (7), 13–16 [in Ukrainian].
- Stillhard, J., Hobi, M., Hulsmann, L., Brang, P., Ginzler, C., Kabal, M., ... Commarmot, B. (2019). Stand inventory data from the 10-ha forest research plot in Uholka: 15~yr of primeval beech forest development, *Ecology*, 100 (11). <https://doi.org/10.1002/ecy.2845>.
- Stojko, S. M. (2006). Primary forests as ecological models of re-naturalization of secondary phytocoenoses. *Ukrainskyj botanichnyj zhurnal*, 63 (3), 358–368 [in Ukrainian].
- Trotsiuk, V., Hobi, M. L., Commarmot, B. (2012). Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecology and Management*, 265, 181–190.
- United Nations Framework Convention of Climate Change (UNFCCC). (2015). Paris Agreement; UNFCCC: Geneva, Switzerland, 32.
- Zlatník, A., Korsuň, F., Kočetov, F., Kseneman, M. (1938). Prozkum přirozených lesů na Podkarpatské Rusi. *Sborník výzkumných ústavů zemědělských ČSR*, 152, 244.

Shparyk, Y. S., Viter, R. M., Shparyk, V. Y. (2020). Structural changes of the common beech (*Fagus sylvatica* L.) virgin forest in the context of climate-smart forestry. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (1), 87-97.

<https://doi.org/10.31548/forest2020.01.087>.

Climate Smart Forestry is a modern forestry concept that aims to reduce the negative impacts of climate changes on forests and to develop a long-term forest management strategy that considers climate changes and natural disasters effects on forests. Structural changes in virgin forests are a natural response on climate changes and this justifies the importance of their study in the context of Climate Smart Forestry. The dynamics of the Common beech virgin forest in the Ukrainian Carpathians has been studied from 2000 to 2015 on a 10-hectares permanent plot in accordance with the IUFRO methodological guidelines as a joint effort with the Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape (WSL). Climate changes (increase in the sum of active temperatures – by 22 % and decrease in precipitation – by 46 %) recorded on the meteorological station of the Carpathian Biosphere Reserve, which is located 3 km away from the research plot, and the impact of windthrow – according to the data of 4 inventories. An analysis of the 15 years dynamics of virgin forest revealed significant changes in some forest stand parameters against the background of the overall stability of its structure. Investigation results confirmed that beech virgin forest of the Ukrainian Carpathians is a very complex forest stand (four layers, nine species, and fluctuation of the trees' diameter – from 6 to 132 cm and the trees' age – from 1 to 400 years), but very stable (variability of 6 out of 8 key parameters does not exceed 10 percent) too. The increase in the number of trees in the beech virgin forest from 2010 to 2015 was 60 % (from 278 to 445 trees per ha) and the main reason for this was the windfall in 2007. The increase in the diameter increment was also significant from 2005 to 2015 (by 35 % – from 0.26 to 0.36 cm/year), even in spite of the increase in the number of trees and the decrease in average diameter. The uprise of four new species (Rocky oak, Cherry, Mountain ash, Goat willow) in the species composition of the virgin forest resulted from the vitality deterioration of the Common beech and other tree species that formed the virgin forest earlier. These changes in the virgin forest cannot be explained by its internal dynamics, and the structural stability of the virgin forest indicates that these factors were due to external factors, first of all – changes of the site conditions (global warming). Therefore, our research gives grounds to consider some proposals for Climate-Smart Forestry in the beech forests of the Eastern Carpathians: for prevention of the wood volume losses due to natural disasters, it is necessary to pay more attention to damages to trees and crowns within cuts (stem hollows, stem cancer, big crowns); for the formation of a native forest stands through the natural regeneration it is expedient to reduce the size of gaps within cutting to 1–2 trees of the main layer; in order to save in forests those species, which tend to deteriorate vitality, it is necessary to prevent their damage within cutting; it is expedient to increase the intensity of cuttings by 15 % or reduce the intervals between them in order to regulate the wood volume because of the increase of increment.

Keywords: site conditions change, uneven-aged forest stand, tree number, diameter increment, undergrowth, new species.

Отримано: 2020-01-08