*УДК 630*176.322.2*

Ю.Й. КАГАНЯК[1], Н.В. РЕГУШ[2]

ГОРИЗОНТАЛЬНА СТРУКТУРА БУКОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЗАКАРПАТТЯ

На основі дослідних ділянок, відібраних в експлуатаційних лісах та в лісах захисного і природоохоронного значення, здійснено аналіз горизонтальної структури букових насаджень південно-західного мегасхилу Українських Карпат. Для цього використано індекси оцінки характеру просторової структури насаджень (Кларка-Іванса, Піелу, Кокса та кутовий індекс). Встановлено, що на характер розташування дерев у насадженні впливають як інтенсивність господарської діяльності людини, так і природні чинники. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації лісогосподарських заходів у букових насадженнях з метою практичної реалізації засад наближеного до природи лісівництва.

Ключові слова: *букові насадження, горизонтальна структура, індекси оцінки просторової структури, категорія лісів, кореляційна оцінка*

Вступ. Ліси з переважанням бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) є одними з найбільш поширених в Українських Карпатах (35% лісового покриву; більше займають тільки смерекові ліси – 41%) [4]. На південно-західних мегасхилах Українських Карпат вони є переважаючими і становлять 57,2% від площі земель, що вкриті лісовою рослинністю [3]. У зв'язку з цим букові ліси мають у цьому регіоні важливе економічне, екологічне, середовищетвірне значення. Враховуючи це, питання економічно вигідного та екологічно нешкідливого лісокористування, розроблення його засад є особливо актуальними.

Незважаючи на інтенсивне лісокористування у XX ст., на південно-західних мегасхилах Українських Карпат на значних площах збереглись первинні букові екосистеми, що не зазнали тотального господарського втручання людини, т. зв. праліси. Саме вони, на думку вчених [7, 19], є важливим джерелом інформації для розроблення засад екологічно нешкідливого господарювання та формування високопродуктивних стійких насаджень. Насадження з переважанням бука лісового поширені в регіоні дослідження на південних макросхилах Полонинського хребра та північних макросхилах Вулканічного хребта в діапазоні висот від 400-500 до 900-1200 (1350) м н.р.м. Високопродуктивні букняки ростуть на висотах від 700-750 до 900 м н.р.м. На вищих гіпсометричних рівнях їхня продуктивність поступово зменшується [5].

Вважають, що складні процеси розвитку і формування деревостану, конкурентну боротьбу та симбіотичні зв'язки між його компонентами, а також впливи антропогенних і природних порушень відображає його структура [1]. Вивчення особливостей просторової структури деревостанів може допомогти зрозуміти процеси формування насаджень та почерпнути важливу інформацію для ведення лісового господарства.

Метою дослідження є оцінювання та порівняння характеру просторового розташування дерев у букових насадженнях, що сформувалися під впливом тільки природних чинників, та в насадженнях, які зазнали також і антропогенного впливу.

Об'єкти досліджень. Вивчення особливостей горизонтальної структури букових деревостанів південно-західного мегасхилу Українських Карпат здійснено на основі польових матеріалів, зібраних впродовж 2011-2012 рр. у чистих або із незначною домішкою супутніх порід різновікових та умовно різновікових букових деревостанах. Дослідні ділянки розміром від 0,3 до 1,1 га розташовані у діапазоні висот від 470 до 1100 м н.р.м. На кожній ділянці здійснено картування просторового розташування всіх дерев діаметром ≥ 6 см.

Розташування кожного дерева було визначено шляхом вимірювання його координат (відстані до нього та азимуту). Вимірювання відстаней та вертикальних кутів здійснено з використанням гіпсометра Forestor VERTEX IV (Haglöf, Швеція). Для вимірювання азимутів використано бусоль MERIDIAN 400 gon (Швеція). Визначення висоти над рівнем моря здійснено з використанням геопозионуючої системи Trimble Geoexplorer XH 2005.

З метою дослідження просторової структури деревостанів, максимально наближених до природних, та впливу на їх формування господарської

[1] **КАГАНЯК Юліан Йосипович –** член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: +38-067-587-42-66. E-mail: kaganiak@yahoo.com

[2] **РЕГУШ Наталія Василівна –** аспірант кафедри лісової таксації та лісовпорядкування, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: +38-096-458-05-73. E-mail: natalia.rehush@yahoo.de

діяльності людини, збір польових матеріалів проведено у таких об'єктах:
– лісах, що вважають такими, які не зазнали господарського втручання людини (йдеться про об'єкт Світового спадку UNESCO – Угольсько-Широколужанський масив Карпатського біосферного заповідника (КБЗ));
– лісах, що мають захисне значення та в яких можливо проводили вибіркові господарські заходи; вони представлені старовіковими буковими насадженнями верхів'я р. Боржави – Березниківське лісництво ДП «Свалявське ЛГ»;
– експлуатаційних лісах (ДП «Великобичківське ЛМГ»).

Характеристику підібраних дослідних ділянок представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Загальна характеристика насаджень на дослідних ділянках

Регіон	ДД	Склад насадження	El	N	P	D	Gini	A
Уголька	1	10Бкл + Яв, Гб, Лп	550	345	34,77	35,84	0,475	1,278
	4	10Бкл	1000	248	32,25	40,68	0,307	0,470
	5	10Бкл	786	203	39,86	50,03	0,265	0,299
	2	10Бкл + Яв, Клг, Вз	610	293	37,31	40,26	0,493	1,031
	3	10Бкл + Яв, Вз	844	314	45,05	42,74	0,489	0,868
Боржава	1	5Бкл5Яв + Вз, Яс, Клг	720	382	44,98	38,73	0,331	0,921
	2	9Бкл1Яв	772	531	51,64	35,18	0,343	1,824
	3	10Бкл + Яв	1000	382	48,92	40,39	0,382	0,800
	4	8Бкл2Яв	1078	293	49,54	46,44	0,272	0,172
	5	2Бкл7Яв1Клг	1000	759	53,97	30,09	0,262	0,215
Бичків	1	9Бкл1Гз + Ялб, Клг, Лп	470	546	36,52	29,19	0,386	1,707
	2	10Бкл	720	276	37,52	41,64	0,248	0,412
	3	10Бкл + Яв,Клг	1100	714	49,38	29,66	0,342	1,384
	4	10Бкл + Вз	704	695	39,66	26,96	0,260	1,187
	5	10Бкл + Яв	883	584	47,75	32,27	0,212	0,715
	6	10Бкл +Яв, Яс	938	306	40,14	40,87	0,232	0,859

Примітка. ДД – номер дослідної ділянки; El – висота над рівнем моря, м; N – кількість дерев, шт/га; P – абсолютна повнота, м²/га; D – середній діаметр, см; Gini – коефіцієнт Джіні, характеризує ступінь диференціації дерев за діаметрами [17]; A – асиметрія [17]

Методика досліджень. Для оцінки горизонтальної структури лісових насаджень часто використовують статистичні методи – індекси просторової структури [2, 6, 12, 13, 15, 19]. Значення індексів дозволяють судити про рівномірність, випадковість чи згрупованість розташування дерев у насадженні. З метою підвищення об'єктивності досліджень рекомендують використовувати одночасно кілька методик оцінки характеру розташування дерев у насадженні [2, 12]. Майже класичним вважають індекс агрегації Кларка-Іванса [8], який часто використовували також під час аналізу структури букових деревостанів [9, 19]. Індекс невипадковості Піелу [14] та індекс згрупованості Кокса [10] за їх поєднаного використання дають інформацію як про макро-, так і про мікроструктуру деревостану [12]. Кутовий індекс [18] дає змогу оцінити приналежність кожного окремого дерева насадження до біогрупи.

Індекс агрегації Кларка-Іванса базується на порівнянні середнього значення відстаней між деревами-«найближчими сусідами» до середньої відстані між деревами за абсолютно випадкового розташування дерев (за Пуасоном). Його визначають за формулою

$$R = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i 2\sqrt{\rho}, \qquad (1)$$

де n – кількість дерев на пробній площі; r – відстань від дерева до його найближчого сусіда; ρ – кількість дерев на 1 м².

Індекс Кларка-Іванса може набувати значення від 0 до 2,1491: $R < 1$ характеризує згруповане розташування дерев; $R \approx 1$ – випадкове розташування; $R > 1$ – рівномірне розташування дерев. За абсолютно рівномірного розташування дерев R набуває значення 2,1491.

Під час розрахунку індексів, що базуються на засадах найближчого сусідства, необхідно враховувати «ефект країв», що може суттєво вплинути на результат [16]. Початковий варіант індексу Кларка-Іванса не враховує цього, що пізніше було скориговано Доннеллі [2].

Індекс невипадковості Піелу базується на визначенні середньої відстані від випадкової точки до найближчого до неї дерева та визначають його за формулою

$$P = \pi \frac{n}{A}\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{n} r_i^2, \quad (2)$$

де n – кількість дерев на пробній площі; A – площа пробної площі; k – кількість випадкових точок, що використані для розрахунку індексу; r – відстань від точки до дерева, що знаходиться найближче до неї.

Індекс Пієлу може набувати таких значень: $P > 1$ – за групового розташування дерев; $P < 1$ – за рівномірного розташування дерев; $P \approx 1$ характерне для випадкового розташування дерев.

Під час розрахунку індексу згрупованості Кокса дослідну ділянку попередньо розподіляють на субділянки фіксованого розміру (10 х 10, 5 х 5 м тощо). Індекс визначають за формулою (3) як співвідношення дисперсії кількості дерев на субділянках до усередненої кількості дерев:

$$CI = \frac{\delta_n^2}{\bar{n}}, \quad (3)$$

де δ_n^2 – дисперсія; $\bar{n}$ – середня кількість дерев на субділянці.

Інтерпретування значень, яких може набувати індекс Кокса, збігається з інтерпретуванням значень індексу невипадковості Пієлу.

Клаус фон Гадов (1998) запропонував оцінювати приналежність дерева до біогрупи чи його розташування поза нею на основі визначення кутів, які воно утворює зі своїми чотирма найближчими сусідами. Кількість кутів, що утворені двома векторами від дерева до його найближчих сусідів, менших за стандартний кут» (90° чи 72°) [11, 18] підсумовується та ділиться на загальну кількість кутів. Цей показник розраховують для кожного дерева на дослідній ділянці та визначають його середнє значення:

$$W = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{4}\sum_{1}^{k} z_{ik}, \quad (4)$$

де $z_{ik} = 1$, якщо кут менший або рівний стандартному куту та $z_{ik} = 0$, якщо кут більший за стандартний кут.

Кутовий індекс w може набувати таких значень (якщо стандартний кут рівний 72°): $w \approx 0{,}5$ за випадкового розташування дерев на дослідній ділянці, $w < 0{,}5$ – за рівномірного розташування та $w > 0{,}5$ – за згрупованого.

Усі необхідні розрахунки та верифікацію отриманих результатів здійснено в програмному середовищі Statistical Data Analysis R.

Результати досліджень. Відомо, що у пралісових букових насадженнях ряд діаметрів характеризується значною варіацією та бімодальним розподілом із значним нагромадженням дерев малих діаметрів [9, 20]. Насадження такого типу характеризують дослідні ділянки № 1-3 в Угольці. На основі аналізу ряду розподілу за діаметрами можна припустити, що насадження формувалися впродовж тривалого часу, оскільки наявна сильна диференціація дерев за діаметрами (див. табл. 1).

Аналіз горизонтального розміщення дерев на цих дослідних ділянках на основі розрахункових індексів вказує на близький до випадкового його характер (рис.). Але, залежно від індексу спостерігається тенденція до згрупованості чи рівномірності. Так, розраховані значення індексу Кларка-Іванса в модифікації Донеллі змінюються в межах 1,03-1,08, що свідчить про випадковий з тенденцією до рівномірного характер розташування дерев у насадженнях та відповідає результатам раніше проведених досліджень [9, 19]. За індексами Пієлу та Кокса для відповідних дослідних ділянок властивий випадковий з тенденцією до згрупованого характер розташування дерев.

Відмінності у значеннях індексів можна пояснити, проаналізувавши способи їх розрахунку. Всі вони належать до групи так званих безплощинних методик оцінки просторового розташування дерев у насадженні [2], тобто базуються на визначенні відстані між найближчими деревами або випадковою точкою та найближчим деревом. Але масштаб розрахунку кожного індексу є різним. Так, індекс Кларка-Іванса дає змогу оцінити характер розміщення дерев для дослідної ділянки загалом, оскільки базується тільки на одному фактичному значенні – усередненій відстані між найближчими деревами. Під час розрахунку індексу Кокса масштаб досліджень зменшується до субділянки (у нашому випадку її розміри становили 10 х10 м). Для розрахунку індексу Пієлу точки було згенеровано у вигляді випадкового растру з відстанню між кутами (точками) 3 м.

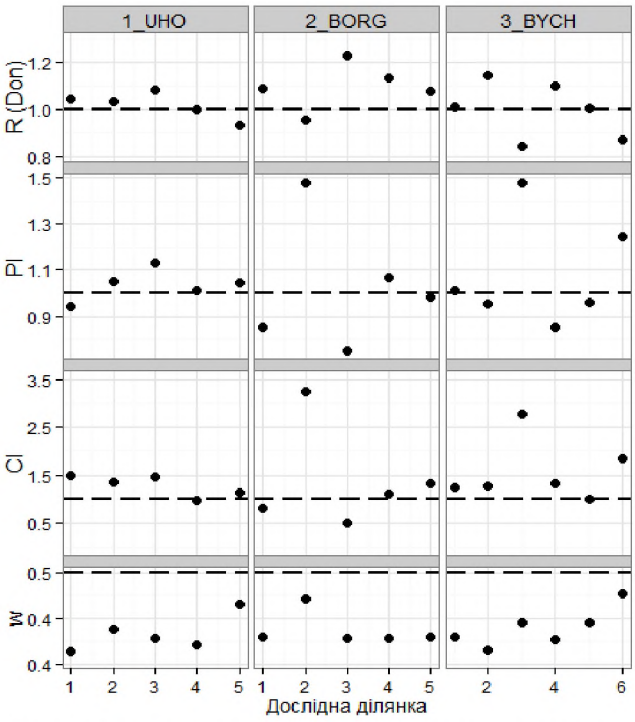

Рис. Характер розташування дерев у букових насадженнях на основі індексів просторової структури: *1_UHO* – Уголька; *2_BORG* – Боржава; *3_BYCH* – Бичків; *R (Don)* – індекс Кларка-Іванса; *PI* – індекс Пієлу; *CI* – індекс Кокса; *w* – кутовий індекс; *R* – рівномірне розташування дерев; *C* – згруповане розташування дерев

Таким чином, застосування під час проведення досліджень одночасно цих трьох індексів мало б дозволити ґрунтовно проаналізувати характер розташування дерев у насадженні.

Для тестової ділянки № 4 та 5 в Угольці за всіма трьома індексами характерний практично абсолютно випадковий та випадковий з тенденцією до групового тип розташування дерев, хоча вони також розташовані в абсолютно заповідний зоні Карпатського біосферного заповідника, де не здійснюють жодних господарських заходів. Та варто звернути увагу на те, що для обох ділянок характерна менша, порівняно з попередніми ділянками, диференціація за діаметрами та менше значення асиметрії (див. табл. 1).

Старовікові букові насадження у верхів'ї р. Боржави та насадження ДП «Великобичківське ЛМГ», що перебувають під активним впливом господарської діяльності людини, характеризуються значним варіюванням значень індексів оцінки характеру розташування дерев.

Кутовий індекс свідчить про близький до випадкового тип розташування дерев на всіх дослідних ділянках.

Інтенсивність господарської діяльності людини, а також те, чи відбувались у насадженні великі за площею порушення природного характеру (наприклад вітровал) відображає ступінь диференціації дерев за діаметрами та асиметричність ряду діаметрів. Кореляційні зв'язки індексів оцінки горизонтальної структури між собою та параметрами ряду діаметрів представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Кореляція індексів оцінки горизонтальної структури між собою та параметрами ряду діаметрів

	PI	*R (Don)*	*CI*	*w*	*Gini*	*A*
PI	1,000					
R (Don)	-0,798***	1,000				
CI	0,917***	-0,696**	1,000			
w	0,621*	-0,720**	0,528*	1,000		
Gini	0,032	0,113	0,073	-0,298	1,000	
A	0,398	-0,359	0,584*	0,190	0,450	1,000

*Примітка. ***Рівень значущості становить 0,001; **Рівень значущості становить 0,01; *Рівень значущості становить 0,05*

Відсутність чіткої кореляції між індексами оцінювання характеру горизонтального розташування дерев та ступенем їх диференціації за діаметрами чи асиметрією розподілу за діаметрами можна пояснити тим, що на формування букових насаджень важливий вплив мають природні чинники (висота н.р.м., вітровий режим, стрімкість схилу тощо).

Висновки. Розрахункові індекси Кларка-Іванса, Піелу, Кокса та кутовий індекс дають змогу описати та порівняти між собою типи розташування дерев у букових насадженнях з різним ступенем антропогенного впливу. Для букових насаджень, не порушених господарською діяльністю людини, властивий випадковий з тенденцією до рівномірного тип розташування дерев. Експлуатаційні ліси і старовікові насадження верхів'я р. Боржави характеризуються значною варіацією горизонтальної структури, що може бути зумовлено як різною інтенсивністю ведення лісового господарства, так і впливом природних чинників. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації лісогосподарських заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко С.В. Горизонтальна структура природних соснових деревостанів різного віку / С.В. Бойко, О.М. Тарнопільська // Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.4. – С. 33-39.

2. Бойко С.В. Сучасні методологічні підходи до вивчення просторової структури деревостану / С.В. Бойко // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2010. – Вип. 117. – С. 159-167.

3. Гамор Ф.Д. Праліси Закарпаття. Інвентаризація та менеджмент / Ф.Д. Гамор, Я.О. Довганич, В.Ф. Покиньчереда [та ін.]. – Рахів, 2008. – 86 с.

4. Генсірук С.А. Ліси України / С.А. Генсірук. – Львів, 2002. – 496 с.

5. Генсірук С.А. Ліси західного регіону України / С.А. Генсірук, М. С. Нижник, Л. І. Копій. – Львів: Атлас, 1998. – 408 с.

6. Король М.М. Просторова структура дубових деревостанів Прикарпаття / М.М. Король, В.В. Костишин // Науковий вісник НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.7. – С. 63-68.

7. Чернявський М.В. Букові праліси як еталони лісів майбутнього Українських Карпат / М.В. Чернявський // Дослідження басейнової екосистеми Верхнього Дністра : [зб. наук. пр.]. – Львів, 2000. – С. 164-183.

8. Clark P.J. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationship in Populations / P.J. Clark, C.E. Evans // Ecology. – 1954. – Vol. 35(4). – P. 445-453.

9. Commarmot B. Structures of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study / B. Commarmot, H. Bachofen, Y. Bundziak [et al.] // Forest Snow and Landscape Research. – 2005. – Vol. 79(1/2). – P. 45-56.

10. Cox F. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandmessungen: ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren / F. Cox. – Göttingen : Georg-August-Universität Göttingen, 1971. – 182 s.

11. Hui G.Y. Das Winkelmass – Herleitung des optimalen Standardwinkels / G.Y. Hui, K. von Gadow // Allgemeine Forst und Jagdzeitung. – 2002. – Nr. 173(10). – S. 173-177.

12. Neumann M. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests /

M. Neumann, F. Starlinger // Forest Ecology and Management. – 2001. – Vol. 145. – P. 91-106.

13. Petritan A.M. Structure and diversity of a natural temperate sessile oak (*Quercus petraea* L.) – European Beech (*Fagus sylvatica* L.) forest / A.M. Petritan, I.A. Biris, O. Merce [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2012. – Vol. 280. – P. 140-149.

14. Pielou E.C. The Use of Point-to-Plant Distances in the Study of the Pattern of Plant Populations / E.C. Pielou // Journal of Ecology. – 1959. – Vol. 47(3). – P. 607-613.

15. Pommerening A. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis / A. Pommerening // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 224. – P. 266-277.

16. Pommerening A. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure / A. Pommerening, D. Stoyan // Canadian Journal of Forest Research. – 2006. – Vol. 36. – P. 1723-1739.

17. Sterba H. Abstandsabhängige und abstandsunabhängige Bestandesstruktur-beschreibung / H. Sterba, A. Zingg // Allgemeine Forst und Jagdzeitung. – 2006. – Nr. 177(8/9). – P. 169-176.

18. von Gadow K. Das Winkelmass – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen / K. von Gadow, G.Y. Hui, M. Albert // Centralblatt für das Gesamte Forstwesen. – 1998. – Nr. 115. – P. 1-10.

19. von Oheimb G. Structural pattern of a near-natural beech forest (Fagus sylvatica) (Serrahn, North-east Germany) / G. von Oheimb, C. Westphal, H. Tempel [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2005. – Vol. 212. – P. 253-263.

20. Westphal C. Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? / C. Westphal, N. Tremer, G. von Oheimb [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 223. – P. 75-83.

Ю.Й. Каганяк, Н.В. Регуш

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА БУКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗАКАРПАТЬЯ

На основании пробных площадей, отобранных в эксплуатационных лесах и лесах защитного и природоохранного значения, сделан анализ горизонтальной структуры буковых насаждений южно-западного мегасклона Украинских Карпат. С этой целью использованы индексы оценки пространственной структуры насаждений (Кларка-Иванса, Пиелу, Кокса и угловой индекс). Установлено, что на характер размещения деревьев в насаждении влияют как интенсивность ведения лесного хозяйства, так и природные факторы. Полученные результаты можно использовать для оптимизации лесохозяйственных мероприятий в буковых насаждениях с целью практической реализации принципов приближенного к природе лесоводства.

Ключевые слова: буковые насаждения, горизонтальная структура, индексы оценки пространственной структуры, категория лесов, корреляционная оценка

Ju. Kaganjak, N. Rehush

SPATIAL STAND STRUCTURE OF BEECH FORESTS IN TRANSCARPATHIA

Thirty-five presents of the forest cover in the Ukrainian Carpathians is dominated by *Fagus sylvatica* L. Therefore, beech forest is among one of the most prevalent types in this region. In the Ukrainian Carpathians beech forest performs an important ecological and economical role. Thus far, large part of the forest is considered to be of natural origin without human interference, which advocate for its candidacy for being a reference system in implementing sustainable forest management practices.

The goal of this study is to analyze and to compare the structural variability between beech stands with different ranges of anthropogenic impact. To achieve this, three areas were selected to collect data from primeval forests (Uholka-Shyrokyy massif of Carpathian Biosphere Reserve), old-growth forests with partial anthropogenic impact (upper reaches of Borgawa river), and forests under traditional management (Velykobychkiv Forest Enterprise). On the selected properties sixteen plots (ranging from 0.3 to1.1 ha each) dominated by beech trees were selected. The sample plots were situated at the altitude between 470 and 1100 m above sea level. Positions of all trees with DBH lager than 6 cm were recorded. Different spatial indices (Clark-Evans, Pielou, Cox and Gadow Winkelmass-distribution) were used to analyze and compare the complex horizontal structure of the beech stands. Use of such different methods for analyze of spatial structure could help to improve our understanding about macro- and microstructure of beech forests.

Studied primeval beech stands are characterized by high variability in diameter at breast height and expressed by typical bimodal DBH distribution. Trees in such stands tend to be randomly distributed. We found that the trees in old-growth forests and forests under traditional management seem to have very different spatial distributions. On one hand, this can be explained by an insensitivity of forest management activities but also natural factors like altitude, wind regime, slope of the area are relevant. This explains why there is no correlation between the special indices and the DBH distribution parameters such as skewness and Gini coefficient.

Our results provide additional information on the complex of structural variability of the forests and its application for a sustainable management of beech forest ecosystems.

Key words: beech forest, spatial stand structure, structural indices, category of forests, correlation