

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/4>

УДК 630\*561



## ИНДЕКСЫ СКОРОСТИ РОСТА И КОЭФФИЦИЕНТЫ ТИПА РОСТА ПО ВЫСОТЕ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Румен Димитров Петрин ✉ [lesni4eja2014@gmail.com](mailto:lesni4eja2014@gmail.com) 0000-0002-5831-5983

*Научно-исследовательский институт леса Болгарской академии наук, бул. Климента Охридского, 132, г. София, 1756, Болгария*

Для семенных одновозрастных насаждений бука и дуба, лиственных семенных и порослевых пород, по опубликованным данным, по таблицам хода роста изучена скорость роста в высоту в одном и том же интервале возраста. Для установления темпов (скорости) роста использовались новые индикаторы – индексы. Предложены также новые коэффициенты для оценки типа роста и доказана их пригодность для практического применения. Для этой цели они сравнивались с нулевыми натуральными показателями, которыми определялся до сих пор тип роста в высоту. Установлена при этом высокая степень корреляции. Сделан анализ темпов роста в высоту исследуемых насаждений на основе их индексных кривых. Новые коэффициенты типа роста применены, и установлены значения и интервалы индексов скорости роста изучаемых насаждений для отдельных типов роста. Делается заключение о том, что коэффициенты типа роста, как и индексы скорости роста, являются удобными инструментами для установления разницы в скорости (темпе) роста и в типе роста лесных насаждений.

**Ключевые слова:** *лесные насаждения, скорость роста, темп роста, тип роста, бонитет, древесные породы.*

**Благодарности:** Автор выражает благодарность рецензентам за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Петрин, Р. Д. Индексы скорости роста и коэффициенты типа роста по высоте лиственных лесных насаждений / Р. Д. Петрин // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 47–59. – Библиогр.: с. 56–59 (27 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/4>.

*Поступила 09.03.2022. Пересмотрена 07.10.2022. Принята 14.11.2022. Опубликовано онлайн 26.12.2022.*

Article

### GROWTH-RATE INDICES AND GROWTH TYPE COEFFICIENTS IN HEIGHT OF BROADLEAVES FOREST STANDS

Rumen D. Petrin ✉ [lesni4eja2014@gmail.com](mailto:lesni4eja2014@gmail.com) 0000-0002-5831-5983

*Forest Research Institute in Bulgarian Academy of Sciences, 132, St. Kliment Ohridski Blvd., Sofia, 1756, Bulgaria*

#### Abstract

Based on published data about the growth in height of model and other stands of seed-tree common beech, oak, deciduous and coppice deciduous stands have their rates of growth been investigated within one and the same age interval. New indicators have been used for establishing the respective growth rates – growth-rate indices. New coefficients

have been suggested for estimating the types of growth, and their applicability to use has been proved as these coefficients have been compared with the zero natural indicators of types of growth. A high level of correlation has been found with that. An analysis was made of the height growth rates of the studied stands based on their index curves. Further on, by applying the new coefficients of types of growth, the values and intervals of growth-rate indices according to types of growths, have been found for the stands of the tree species investigated. It has been concluded that the coefficients of types of growth, as well as the growth-rate indices, are rather convenient instruments for finding differences in the rates and types of the growth of forest stands in height.

**Keywords:** *forest stands, growth rate, type of growth, stand-quality level, site index, tree species*

**Acknowledgments:** the author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**For citation:** Petrin R. D. (2022) Growth-rate indices and growth type coefficients in height of broadleaves forest stands. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 4 (48), pp. 47-59 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4>.

*Received* 09.03.2022. *Revised:* 07.10.2022. *Accepted* 14.11.2022. *Published online* 26.12.2022

### Введение

Сравнение и моделирование относительных темпов роста лесных насаждений дает возможность лучше анализировать эффективность их роста и прогнозировать будущие и прошлые темпы роста.

Различия в скорости роста и в типе роста лесных насаждений в рамках одного и того же бонитета являются давно установленным фактом. Наиболее важные выводы, результаты исследований разных авторов (Давидова 1977, 1980, 1984; Духовникова, Илиева 1972; Духовникова, Богданова 1979; Духовникова 1980; Михова 1983, 1984, 1986, и др.) представлены в диссертационной работе Р. Петрина (1988) по теме: «Закономерности роста буковых насаждений и их использование в лесоустройстве». Эти выводы, в основном, следующие: о наличии разных типов роста лесных насаждений для почти всех древесных пород; о наличии связи между скоростью роста и условиями место-произрастания; о различии в продуктивности насаждений разного типа роста в рамках одного и того же бонитета; более продуктивными являются насаждения, растущие по типу  $T_n$  – нарастающий тип роста, которому соответствует более поздняя кульминация прироста.

В исследованиях показана необходимость составления дифференцированных по типу роста таблиц хода роста и перехода от статичного к ди-

намичному бонитированию, где необходимо указывать, кроме бонитета, еще и тип роста. Вследствие подобных констатаций разных авторов составлены дифференцированные по типам роста бонитетные шкалы и таблицы хода роста (ТХР), как, например, ТХР для сосны обыкновенной, для ели и пихты (Духовников, Илиев, 1972), для семенного бука (Петрин, 1988) и др. Предложены также индексы для идентификации типа роста древостоев в лесу (Михов, 1986; Петрин, 1988; Михов, Петрин, 1996), которые основаны на их связи с нулевыми натуральными показателями (Духовников, 1966).

Kyle W. Tomlinson et al. (2014) установили, что скорость роста хвойных пород выше, чем лиственных. Yeongwan Seo, Daesung Lee & Jungkee Choi (2017) сравнивают скорость роста по диаметру на высоте груди, по средней высоте и по объему насаждений трех древесных пород – *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis* и *Larix kaempferi* – и устанавливают, что при прочих равных условиях лучший темп роста по высоте и по объему имеет *Larix kaempferi* (Lk).

Luiza Tyminska-Czabanska et al. (2020) для основных лесообразующих пород Польши установили, что кривые бонитетных классов молодых и старых насаждений отклоняются в наибольшей степени от их среднего хода. J. Vieira, A. Carvalho and F. Campelo (2020) для насаждений морской сосны (*Pinus pinaster* Aiton) экспериментально

устанавливают, что если прогнозы об увеличении интенсивности и частоты засухи сбудутся, то это приведет к более слабому росту и более низкой продуктивности насаждений. Facundo J. Oddi, Cecilia Casas et al. (2022) для чилийского кедра (*Austrocedrus chilensis*) устанавливают, что он растет лучше на влажных и прохладных местах, где есть больше углерода в почве и окисленность меньше. Diego Rodríguez de Prado, Jose Riofrío et al. (2022) исследуют строение по высоте чистых и смешанных иглолистных и лиственных насаждений. Они установили, что чистые иглолистные насаждения достигают большей средней высоты, чем смешанные, а у лиственных, наоборот, смешанные растут в высоту лучше. Разработали модели кривых строения по высоте для разных смесей и разной сухости почвы.

Цель настоящей работы – представить теоретически и применить практически два новых методологических подхода и два новых параметра кривых роста: индексы скорости (или темпа) роста (Петрин, 2020) и коэффициенты типа роста лесных насаждений и деревьев по высоте.

Чаще всего скорость и тип роста изучаются в высоту, так как рост по высоте является определяющим фактором в процессе производства древесины. Но эти параметры кривых роста применимы для любой другой кривой роста или кривой строения лесного насаждения, поскольку все они, как правило, имеют параболический ход.

### Материалы и методы

Источниками данных для исследования являются следующие материалы:

- Данные для роста в высоту и по бонитетам по ТХР семенных буковых насаждений (Недялков, 1960).

- Данные для роста в высоту, по бонитетам и типам роста семенных буковых насаждений (Петрин, 1988).

- Данные для роста в высоту и по бонитетам по ТХР семенных дубовых насаждений (Вименауер – Порязов, Тончев, Добричов, 2004).

- Данные для роста в высоту и по бонитетам по ТХР семенных буковых насаждений (Герхард, румынские авторы, Вийдеман – Порязов, Тончев, Добричов, 2004).

- Данные для роста в высоту и по бонитетам семенных лиственных и порослевых насаждений (Давидов, 1977).

Представим вкратце содержание понятий «скорость и тип роста», а также индикаторы для их определения.

Скорость роста – это крутизна кривой роста в высоту (или по другому таксационному показателю), которая показывает интенсивность (скорость, темп) увеличения роста с возрастом, она оценивается через **индекс скорости роста** (Петрин, 2020). В западной литературе крутизну кривых роста называют скоростью скорости (темпом темпа), или трендом роста (Mario Trouillier et al., 2020).

Индексы скорости роста ( $I_{ск.р.}$ ) представляют относительные числа кривых роста, получаемых определенным образом.

Рассмотрим рост по высоте нескольких лесных насаждений, скорость и тип роста которых являются предметом настоящего исследования, и пусть их рост в высоту изучается в возрастном интервале от 20 до 100 (или 110 лет). Тогда кривые высот приводятся в относительном выражении  $q_x$  по отношению к высоте одного из начальных возрастов (например,  $x_{i+1}=30$  л.), т.е. высоты отдельных (фиксированных) возрастных точек делим на высоту в 30 лет. Значение  $q_x$  в 100 лет ( $q_{100(30)}=H_{100}/H_{30}$ ) будет индексом скорости роста в высоту этого насаждения, принадлежащего к определенному бонитетному классу ( $x$ ) или имеющему определенный средний диаметр ( $x=d_{cp}$ ):

$$I_{ск.р.}(x)=q_{100(30)}. \quad (1)$$

Индекс скорости роста в более общем выражении будет

$$I_{ск.р.}(x)=H_{\beta}/H_{\alpha}, \quad (2)$$

где  $H_{\beta}$  – одна из высот в конце возрастного интервала,  $H_{\alpha}$  – одна из высот в начале возрастного интервала.

Для сравнимости при исследовании одной или нескольких совокупностей кривых индексы роста должны быть рассчитаны для одного и того же возрастного интервала, например от 30 до 100 лет (значит, возрастные точки  $A_{\beta}$  и  $A_{\alpha}$ , соответствующие высотам  $H_{\beta}$  и  $H_{\alpha}$  в равенстве (2), должны совпадать для всех кривых).

Типом же роста является определенный диапазон общего интервала индексов скорости роста

всех кривых совокупности. Скорость роста и типы роста до сих пор в болгарской лесотаксационной науке определялись методом натуральных показателей (МНП) профессора Духовникова (Духовников, 1966; Михов, 2005). Пользуясь МНП [10, 15, 20], получают нулевые натуральные показатели для каждой кривой совокупности. Для этого необходимо каждую абсолютную кривую совокупности превратить в относительную ( $q_x$ ) путем деления абсолютных значений ( $H_x$ ) на среднее значение или на фиксированное значение в конце интервала (например,  $H_{100}$ ); относительные значения кривых  $q_x$  называются нормальными числами. Далее нормальные числа ( $q_x$ ) каждой кривой делятся на  $q_{xcp}$ , т.е. на средние значения нормальных чисел для всей совокупности (на среднюю относительную кривую). Тогда для каждой кривой получается прямая линия

$$q_x/q_{xcp} = ax + b, \quad (3)$$

где  $x$  – возраст,  $a$  и  $b$  – коэффициенты прямой.

Линейный, или свободный, коэффициент  $b$  прямой линии является нулевым натуральным показателем (ННП), чья величина соотносится с крутизной исходной кривой роста. Скорость роста кривой тем больше, чем меньше значение нулевого натурального показателя (Михов, 1986; Петрин, 1988; Михов, 2005). Нулевые натуральные показатели (ННП) роста в высоту насаждения или дерева получаются чаще всего со значениями от 0,6 до 1,4 и во всех случаях значение «единица» разделяет совокупность кривых роста на разные типы роста.

В настоящем исследовании впервые предлагается определять тип роста при помощи коэффициентов типа роста. Коэффициент типа роста получается как отношение индексов скорости роста (2) всех отдельных кривых к среднему значению индекса скорости всей совокупности насаждений (или деревьев)  $I_{ск.р.ср.}$ . Значит, для каждой кривой получим

$$K_{тип(x)} = I_{ск.р.(x)} / I_{ск.р.ср.} \quad (4)$$

Возможными типами роста являются следующие:

1. Тип  $T_n$  – нарастающий тип роста, где скорость роста вначале слабая, потом усиливается и этому типу роста соответствует ПОЗДНЯЯ кульминация прироста, а кривые роста имеют самую большую крутизну. Ему соответствуют кривые ( $H_A$ ) с большими индексами скорости роста ( $I_{ск.р.}$ ), соответственно, с большими коэффициентами типа ро-

ста  $K_{тип}$  и меньшими нулевыми натуральными показателями (ННП).

2. Тип  $T_y$  – уменьшающийся тип роста, где скорость роста более ускоренная вначале, слабеет со временем, кульминация прироста РАННЯЯ, и кривые оцениваются меньшими значениями индексов скорости, меньшими коэффициентами типа роста и большими ННП. Кривые этого типа роста *пологие*.

3. Тип  $T_o$  – обычный или средний тип. Индикаторы скорости роста среднего типа имеют средние значения, а значения индикаторов типа роста близки значению «единица». Тип  $T_o$  выделяется не всегда.

В исследовании индексы темпов роста всех кривых роста по высоте вычислялись в интервале от 30 до 100 лет.

### Результаты и обсуждение

*1. Связь между нулевыми натуральными показателями, индексами скорости роста по высоте и коэффициентами типа роста древесных листовых пород*

В табл. 1 представлены ряды индексов скорости роста по высоте, коэффициентов типа роста и нулевых натуральных показателей по бонитетам и древесным породам.

Табл. 1 показывает, что значения показателей типа роста – коэффициентов типа роста и нулевых натуральных показателей совпадают около значения «единица», и в настоящем исследовании оно получается около III бонитета. Коэффициент корреляции  $R$  между нулевыми натуральными показателями (ННП) и  $K_{тип}$  очень высокий, около 1,0. На рис. 1 графически показана взаимосвязь этих двух показателей типа роста исследуемых пород с понижением класса бонитета. Отношение прямолинейное и обратно пропорциональное. Следовательно, коэффициенты типа роста вполне пригодны для использования. Средние диапазоны значений ННП и  $K_{тип}$  составляют соответственно 1,3-0,7 и 0,85-1,15, а максимальные – 1,4-0,6 и 0,8-1,2. При различении двух типов роста первая половина диапазонов (до 1,0) ННП и  $K_{тип}$  относится к убывающему типу роста ( $T_y$ ), а вторая – к нарастающему типу ( $T_n$ ).

Индексы скорости роста ( $I_{ск.р.}$ ), коэффициенты типа роста ( $K_{тип}$ ), нулевые натуральные показатели и коэффициенты корреляции между показателями типа роста по высоте ( $K_{тип\_H} \div ННП\_H$ ) по породам деревьев

Table 1

Growth rate indices ( $I_{gr.r.}$ ), Growth Type Coefficients ( $C_{тип}$ ), Zero Natural Indicators and Correlation Coefficients between Growth Type Indicators in Height ( $C_{тип\_H} \div ZNI\_H$ ) according to tree species

Породы деревьев   Tree species	Показатели темпа и типа роста   Growth- rate and type of growth in- dicators	Бонитет   Stand-quality level('site index')					Средние показатели   Average indicators	Коэффициенты корреляции $K_{тип\_H} \div ННП\_H$   Corel. Coeff. $C_{тип\_H} \div ZNI\_H$
		I	II	III	IV	V		
Дуб (Вименауер)   Oak (Wimmenauer)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.28	2.44	2.80	3.31	3.74	2.91	-1.00
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.78	0.84	0.96	1.14	1.28	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.32	1.21	1.02	0.8	0.65	1.00	
Бук (Недялков)   Common Beech (Nedyalkov)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.33	2.4	2.5	2.67	3	2.58	-0.99
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.90	0.93	0.97	1.03	1.16	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.13	1.09	1.03	0.93	0.8	1.00	
Бук (Румынск. табл.)   Common Beech (Romanian tabl.)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	1.95	2.00	2.14	2.22	2.49	2.16	-0.95
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.90	0.93	0.99	1.03	1.15	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.1	1.03	1.01	0.95	0.9	1.00	
Бук (Герхард)   Common Beech (Gerhardt)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.69	2.64	2.68	2.69	2.81	2.70	-0.95
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	1.00	0.98	0.99	0.99	1.04	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.02	1.04	1.01	0.99	0.94	1.00	
Бук (Вийдеман)   Common Beech (Wiedemann)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.51	2.50	2.45	-	-	2.49	-0.95
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	1.01	1.00	0.98	-	-	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	0.91	1	1.09	-	-	1.00	
Общее, бук   Total, Common Beech	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.37	2.39	2.44	2.53	2.76	2.50	-0.97
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.95	0.96	0.98	1.02	1.12	1.01	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.04	1.04	1.04	0.96	0.88	0.99	
Листоенные се- менные (Давидов)   Deciduous seed- tree stands (Da- vidov)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.22	2.26	2.34	2.50	2.70	2.40	-1.00
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.92	0.94	0.97	1.04	1.12	1.00	
	$ННП\_H$ $ZNI\_H$	1.2	1.15	1.06	0.88	0.71	1.00	

Породы деревьев   Tree species	Показатели темпа и типа роста   Growth- rate and type of growth in- dicators	Бонитет   Stand-quality level ('site index')					Средние показатели   Average indicators	Коэффициенты корреляции $K_{тип\_H} \div NNI\_H$   Corel. Coeff. $C_{тип\_H} \div ZNI\_H$
		I	II	III	IV	V		
Лиственные по- рослевые   (Дави- дов) Deciduous saprice (Davidov)	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	1.74	1.82	1.86	1.91	2.08	1.88	-0.91
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.92	0.97	0.99	1.02	1.10	1.00	
	$NNI\_H$ $ZNI\_H$	1.29	1.03	0.97	0.91	0.8	1.00	
Общее, для всех пород   Total, for all tree species	$I_{ск.р.}$ $I_{gr-r}$	2.25	2.29	2.39	2.55	2.80	2.45	-0.99
	$K_{тип}$ $C_{тип}$	0.92	0.94	0.98	1.04	1.14	1.00	
	$NNI\_H$ $ZNI\_H$	1.14	1.08	1.03	0.91	0.80	1.00	

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

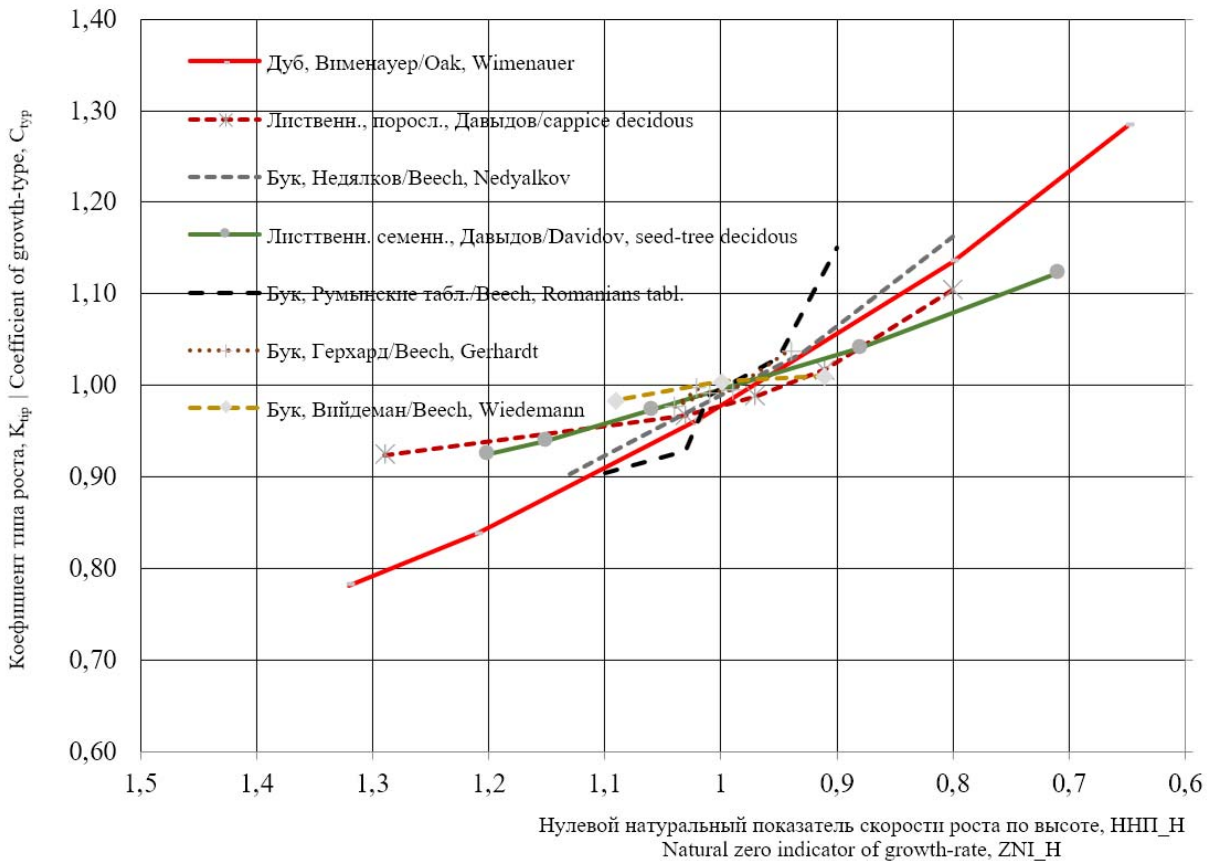


Рис. 1. Взаимосвязь между нулевыми натуральными показателями (ННП) и коэффициентами типа роста ( $K_{тип}$ ) по высоте для древесных лиственных пород с понижением бонитета

Figure 1. Relationship between Zero natural indicators (NNI) and Type-growth coefficients ( $C_{тип}$ ) in Height for Deciduous tree species with a decrease in Stand-quality level

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

## Природопользование

2. Средние относительные кривые ( $q_{xi}$ ), и индексные кривые скорости роста в высоту

В табл. 2 и на рис. 2 представлены средние относительные кривые роста в высоту ( $q_{xi\_н}$ ) по

древесным породам (уравнение 3), где ясно показана разность в крутизну в зависимости от Индекса скорости роста ( $q_{хир}$ ) в 100 лет.

Таблица 2

Средние относительные кривые роста ( $q_{хир}$ ) в высоту по древесным породам

Table 2

Average relative curves for growth in height ( $q_{xiav.}$ ) by tree species

Породы деревьев   Tree species	Возраст, лет / Age, years									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Дуб   Oak	-	0,64	1,0	1,33	1,65	1,94	2,20	2,48	2,71	2,91
Бук (среднее)   Beech (average)	0,40	0,68	1,0	1,35	1,64	1,89	2,09	2,26	2,40	2,51
Давидов, сем.   Seed- tree decidous	0,31	0,66	1,0	1,30	1,55	1,79	1,99	2,16	2,31	2,43
Давидов, поросл.   Carpice decidous	0,39	0,71	1,0	1,21	1,39	1,53	1,64	1,75	1,83	1,90

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

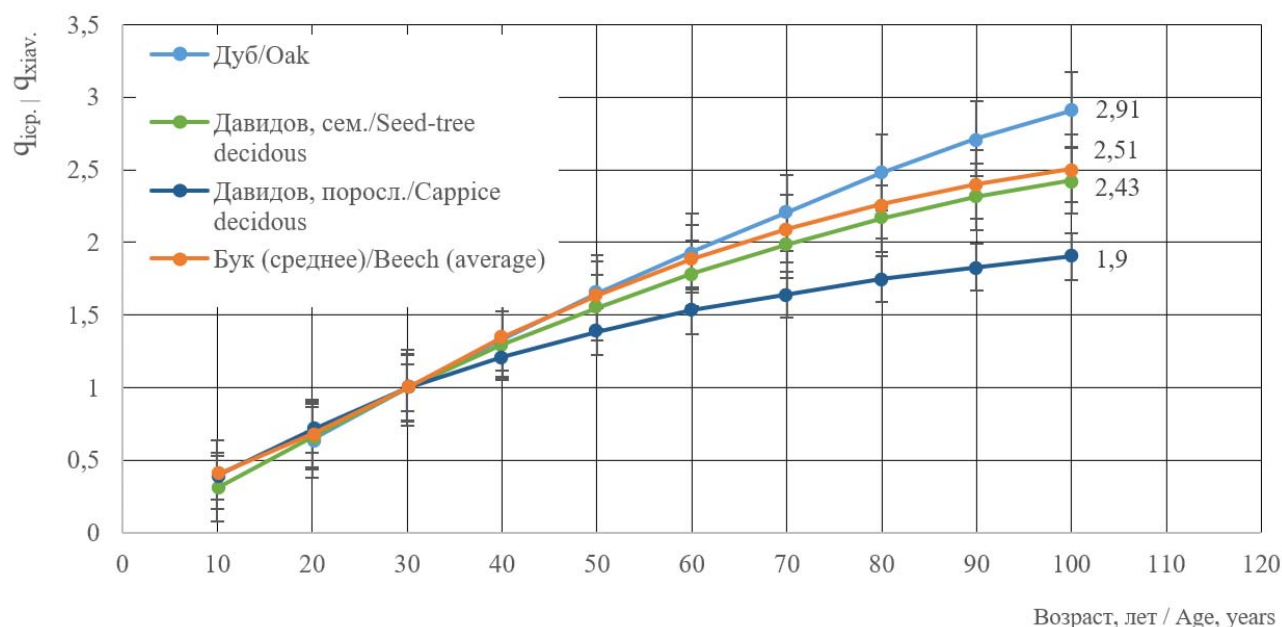


Рис. 2. Средние относительные кривые роста ( $q_{хир}$ ) в высоту по древесным породам

Figure 2. Average relative curves for growth in height ( $q_{xiav.}$ ) by tree species

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

На рис. 3 представлены кривые индексов скорости роста дуба по высоте, средняя кривая индексов для бука и кривые для семенных и лиственных

порослевого пород (Давидов, 1977) в зависимости от бонитета.

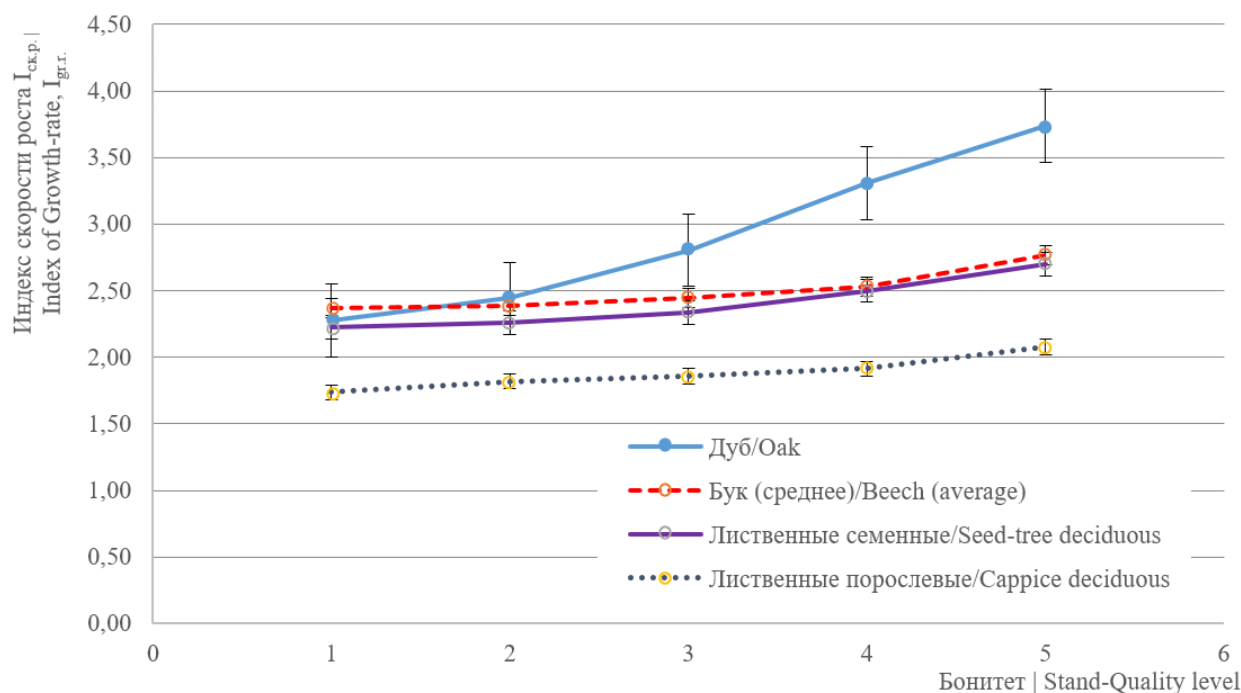


Рис. 3. Кривые индексов скорости роста по высоте и по породам деревьев

Figure 3. Curves of growth-rate indices according to height and tree species

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

Расположение индексных кривых на рис. 3, а также данные из табл. 1 позволяют увидеть различия в значениях показателей скорости роста дуба и бука, и в целом семенных и лиственных порослевых пород с уменьшением бонитета. Как было установлено раньше для хвойных пород (Yeongwan Seo, Daesung Lee & Jungkee Choi, 2017; Петрин, 2021), скорость роста увеличивается с увеличением теневыносливости древесных пород. Но это не всегда так, особенно при сравнении таких древесных пород, как дуб и бук, которые сильно различаются по своим биологическим и экологическим характеристикам. Как видно из рисунка, темп роста бука выше только для I бонитета. Такая же тенденция к увеличению индексов скорости роста наблюдается и при понижении класса бонитета: скорость роста более или менее увеличивается для каждой древесной породы (ДП). В целом, индексы скорости роста дуба выше, чем для всех лиственных пород, за исключением семенного бука I бонитета.

Происхождение насаждений древесных лиственных пород также влияет на скорость роста: кривая индексов лиственных семенных насаждений расположена выше, чем кривая индексов порослевых, и это означает, что соответствующие бонитетные кривые для лиственных семенных круче, чем для порослевых.

### 3. Значения индексов скорости роста насаждений лиственных пород по типам роста

На рис. 4 на оси ординат представлены индексы скорости роста по древесным породам в зависимости от коэффициентов типа роста (на оси абсцисс) в направлении снижения класса бонитета. Связь между индексами скорости роста и производными по способу вычисления значениями коэффициентов типа роста, естественно, строго прямолинейная. В пределах снижающегося бонитетного диапазона прямые линии восходящие, но диапазон значений самих индексов скорости роста



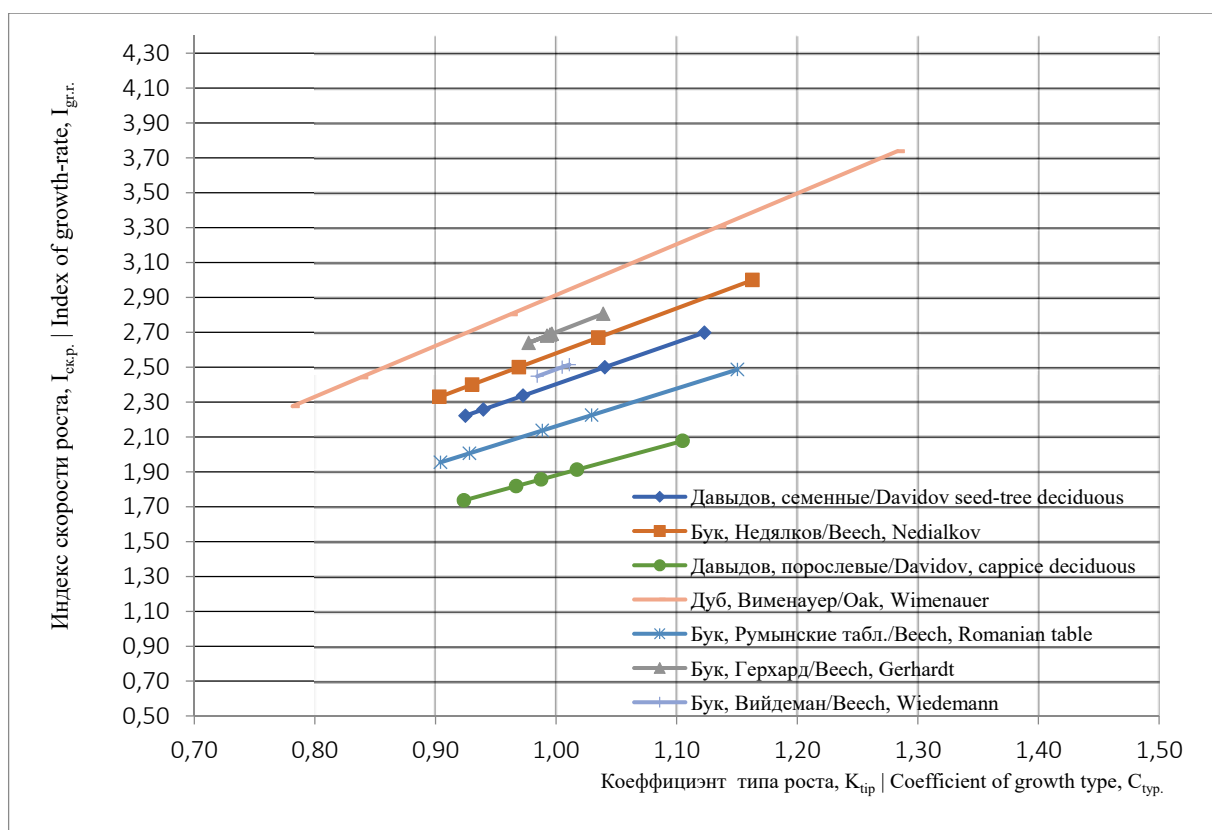


Рис. 4. Связь между коэффициентами типа роста древесных лиственных пород ( $K_{тип}$ ) и индексами скорости роста ( $I_{ск.р.}$ ) с понижением бонитета

Figure 4. Relationship between coefficients according to growth type of hardwood species ( $C_{тип}$ ) and growth-rate indices ( $I_{gr.r.}$ ) with decreasing stand-quality level

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

для каждой ДП разный. Индексы по типам роста наглядно проиллюстрированы. Коэффициент типа роста со значением единица ( $K_{тип} = 1.0$  на оси абсцисс) соответствует среднему индексу скорости (или темпа) роста и разделяет насаждения на два типа роста –  $T_y$  и  $T_n$ .

Интервалы значений индексов по типам роста приведены в табл. 3.

В целом, диапазон индексов для типа  $T_y$ , с убывающей скоростью роста в высоту и ранней кульминацией прироста, включает значения с 1,7 до 2,3, а этот же диапазон для типа  $T_n$ , с нарастающей скоростью роста и с поздней кульминацией прироста – с 2,3 до 3,8.

#### Выводы

Коэффициенты типа роста, как и индексы скорости (темпа) роста, являются надежными и эффективными инструментами для изучения раз-

ниц по темпу и типу роста лесных насаждений и отдельных деревьев, как в высоту, так и по любому другому таксационному параметру.

На основании представленных результатов роста в высоту и анализа исследованных по ТХР насаждений семенного дуба, семенного бука, семенных и лиственных порослевых насаждений в целом можно сделать следующие выводы:

1. Существует тесная корреляционная связь между нулевыми натуральными показателями проф. Ю. Духовникова и коэффициентами типа роста.

2. Коэффициенты типа роста получаются из индексов скорости роста каждого насаждения путем их деления на средний для совокупности индекс скорости роста. В этом их преимущество перед нулевыми натуральными показателями, кото-

рые требуют более сложных расчетов и не всегда являются достаточно точными.

Таблица 3

Интервалы значений индексов темпа роста по типам роста для лиственных пород деревьев при снижении бонитета

Table 3

Intervals of values of growth-rate indices according to types of growth for deciduous tree species with a decrease in stand-quality level

Породы деревьев   Tree species	Типы роста   Growth types	
	T <sub>n</sub> (K <sub>тип</sub> ≤1.0) T <sub>in</sub> (C <sub>тип</sub> ≤1.0)	T <sub>y</sub> (K <sub>тип</sub> ≥1.0) T <sub>d</sub> (C <sub>тип</sub> ≥1.0)
Значения индексов скорости роста, I <sub>ск.р.</sub> Values of growth-rate indices, I <sub>gr.r</sub>		
Дуб (Вименауер) Oak (Wimmenauer)	2.3÷2.9	2.9÷3.8
Бук (Недялков) Common Beech (Nedyalkov)	2.3÷2.6	2.6÷3.0
Бук (Румынск. табл.) Common Beech (Romanian tabl.)	1.9÷2.2	2.2÷2.5
Бук (Герхард) Common Beech (Gerhardt)	2.6÷2.7	2.7÷2.8
Бук (Вийдеман) Common Beech (Wiedemann)	2.4÷2.5	-
Общее, бук Total, Common Beech	1.9÷2.7	2.7÷3.8

Породы деревьев   Tree species	Типы роста   Growth types	
	T <sub>n</sub> (K <sub>тип</sub> ≤1.0) T <sub>in</sub> (C <sub>тип</sub> ≤1.0)	T <sub>y</sub> (K <sub>тип</sub> ≥1.0) T <sub>d</sub> (C <sub>тип</sub> ≥1.0)
Лиственные се- менные (Давидов) Deciduous seed-tree stands (Davidov)	2.2÷2.4	2.4÷2.7
Лиственные по- рослевые (Давидов) Deciduous cappice- tree stands (Da- vidov)	1.7÷1.9	1.9÷2.1
Общее, для всех пород Total, for all tree species	1.7÷2.3	2.3÷3.8

Источник: собственные вычисления автора  
Source: own calculations

3. Скорость (или темп) роста семенного бука в сравнении с семенным дубом выше в пределах первого бонитета, а для других бонитетов дуб имеет более высокую скорость роста в сравнении со всеми остальными лиственными породами.

4. Насаждения лиственных семенных насаждений характеризуются более высокой скоростью роста, чем лиственные порослевые.

5. Для всех насаждений разных бонитетов семенного дуба и бука, для семенных лиственных и порослевых лиственных установлены диапазоны индексов скорости роста по типам роста – T<sub>y</sub> и T<sub>n</sub>. (см. табл. 2).

### Список литературы

1. Давидов, М. В. К вопросу об установлении типов роста древостоев в натуре // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 1977. – № 6. URL: [http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT\\_ID=64596](http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=64596).
2. Давидов, М. В. Бонитирование насаждений с учетом особенностей их роста по высоте // Лесное хозяйство. – 1980. – № 4. – С. 55-58.
3. Давидов, М. В. Результаты исследования типов роста древостоев основных лесообразующих пород на Украине // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1984. – № 5. – URL: [http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT\\_ID=69245](http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=69245).
4. Духовников, Ю. Морфологическая классификация – основа повышения продуктивности лесов. – София: Земиздат, 1966. – Гл. 2-5. – С. 25-40 (на болгарском).
5. Духовников, Ю. Таблицы хода роста сосны обыкновенной, ели и пихты по типам древостоев / Ю. Духовников, А. Илиев // Повышение продуктивности хвойных лесов: сб. – София: Земиздат, 1972. – Гл. 1-5. – С. 21-83. – URL: <https://knizhen-pazar.net/products/books/1245949-povishavane-proizvoditelnostta-na-iglolistnitetogor> (на болгарском).

6. Духовников, Ю., Илиев А. Прирост и продуктивность различных видов древостоев в нашей стране / Ю. Духовников, А. Илиев // Повышение продуктивности хвойных лесов: сб. – София: Земиздат, 1972. – Гл. 4. – С. 61-68. – URL: <https://knizhen-pazar.net/products/books/1245949-povishavane-proizvoditelnostta-na-iglolistnite-gogi> (на болгарском).
7. Духовников, Ю. Динамический бонитет и условия местопроизрастания / Ю. Духовников, К. Богданов // Лесное хозяйство. – 1979. – № 12. – С. 15-19 (на болгарском).
8. Духовников, Ю. Всеобщая динамическая бонитетная классификация // Научные труды ВЛТИ. – 1980. – Т. XXV. – С. 54-59. (на болгарском).
9. Крыстанов, Кр. Определение бонитета насаждений высокоствольного бука (Герхард) / Кр. Крыстанов, Р. Райков // Справочник по дендробиометрии. – София: изд-во Булпофор, 2004. – 420 с. – URL: [https://knizhen-pazar.net/sold\\_products/books/1317970-spravochnik-po-dendrobiometriyu](https://knizhen-pazar.net/sold_products/books/1317970-spravochnik-po-dendrobiometriyu) (на болгарском).
10. Марков, И, Михов, И. Натуральные показатели профессора Духовникова / И. Марков, И. Михов // Наука за гората. – 2007. – № 4. – С. 59-86. – URL: <https://naukazagorata.files.wordpress.com/2008/08/ivmarkovn.pdf>(на болгарском).
11. Михов, И. О динамическом бонитировании древостоев // Сб. международной юбилейной научной конференции. – Шапрон (Венгрия), 1983. – С. 113-115 (на болгарском).
12. Михов, И. Индексы для определения типа роста древостоев // Лесное хозяйство (Горско стопанство). – 1984. – № 4. – С. 49-52 (на болгарском).
13. Михов, И. Метод определения типа роста древостоя и его применение при дифференцированном бонитировании естественных насаждений сосны. Диссертация на соискание научной степени Доктор с.х. наук; г. София, ВЛТИ, 1986. – 138 с. (на болгарском)
14. Михов, И. Индексы для определения типа роста естественных насаждений бука / И. Михов, Р. Петрин // Вторая Балканская конференция по исследованию, сохранению и использованию лесных ресурсов (3-5 июня 1996 г., София): сб. научных статей. – София, 1996. – Том I. – С. 50-53. (на болгарском).
15. Михов, И. Лесная таксация. – София: РИК «Литера», 2005. – 120 с. ISBN 954-8683-18-0 (на болгарском)
16. Недялков, С. О росте и урожайности семенного бука в нашей стране // Научные труды НИИГТС. – София, 1960. – Том VIII. – С. 131-146. (на болгарском).
17. Петрин, Р. Закономерности роста насаждений бука и их использование в лесном хозяйстве: диссертация на соискание научной степени кандидата с.-х. наук. – София: ВЛТИ, 1988. – 156 с. (на болгарском).
18. Петрин, Р. Индексные кривые и типы роста в высоте древостоев хвойных пород // Управление и устойчиво развитие. 2021 (на болгарском, в печати).
19. Порязов, Я., Тончев Т., Добричов И. Справочник таксатора. – София, 2004. – 214 с. – URL: <https://knizhen-pazar.net/products/books/3010504-narachnik-na-taksatora> (на болгарском).
20. Diego Rodríguez de Prado, Jose Riofrío, Jorge Aldea, James McDermott, Felipe Bravo and Celia Herrero de Aza. Species mixing proportion and aridity influence in the height–diameter relationship for different species mixtures in mediterranean forests // Forests. – 2022. – Т. 13. – Article 119. <https://doi.org/10.3390/f13010119>.
21. Facundo J. Oddi, Cecilia Casas, Matías G. Goldenberg, Juan P. Langlois, Jennifer B. Landesmann, Juan H. Gowda, Thomas Kitzberger, Lucas A. Garibaldi. Modeling potential site productivity for *Austrocedrus chilensis* trees in northern Patagonia (Argentina) // Forest Ecology and Management. – 2022. – Iss. 524. – 120525/ – P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120525>.
22. Kyle W. Tomlinson, Lourens Poorter, Frans Bongers, Fabian Borghetti, Loes Jacobs, Frank van Langevelde. Relative growth rate variation of evergreen and deciduous savanna tree species is driven by different traits // *Annals of Botany*. – 2014. – V. 114, Iss. 2. – P. 315–324. – <https://doi.org/10.1093/aob/mcu107>.
23. Jarosław Socha, Luiza Tyminska-Czabanska, Ewa Grabska, Stanisław Orzeł. Site index models for main forest-forming tree species in Poland // Forests. – 2020. – V. 11. – Article 301. – <https://doi.org/10.3390/f11030301>.

24. Mihov I., Tonchev T. Growth model for Macedonian pine (*Pinus peuce* Griseb.) stands in Bulgaria // *Silva Balcanica*. – 2010. – Iss. 11(1). – P. 59-66. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113129231>.

25. Mario Trouillier, Marieke van der Maaten-Theunissen, Tobias Scharnweber, Martin Wilmking. A unifying concept for growth trends of trees and forests – the «Potential natural forest» // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2020. – V. 3. – Article 581334. – <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.581334>.

26. Vieira J., Carvalho A., Campelo F. Tree growth under climate change: evidence from xylogenesis timings and kinetics // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – V. 11. – Article 90. – <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00090>.

27. Yeongwan Seo, Daesung Lee, Jungkee Choi. Growth pattern analysis of major coniferous tree species in South Korea // *Forest Science and Technology*. – 2017. – V. 14 (1). – P. 1-6. <https://doi.org/10.1080/21580103.2017.1409660>.

### References

1. Davidov, M. V. On the Matter of Finding by Measurements in the Field the Types of Growth of Tree Growing Stocks). *Forest Journal*. 1977:6 (in Russian)

2. Davidov, M. V. Differentiated Establishment of the Quality Levels, Taking into Account the Peculiarities of their Growth in Height. *Forestry*, 1980:4.

3. Davidov, M. V. The results of the study of types of growth of forest stands of the main forest-forming species in Ukraine. *Forest Journal*, 1984:5.

4. Diego Rodríguez de Prado, Jose Riofrío, Jorge Aldea, James McDermott, Felipe Bravo and Celia Herrero de Aza. Species Mixing Proportion and Aridity Influence in the Height–Diameter Relationship for Different Species Mixtures in Mediterranean Forests, *Forests* 2022, 13, 119. <https://doi.org/10.3390/f13010119>.

5. Douhovnikov Yu. Morphological classification – the basis for increasing the productivity of forests. Sofia. 1966:25–40. (in Bulgarian)

6. Douhovnikov Yu., Iliev A. Tables of the rate of growth of Scots pine, Spruce and Fir according to types of forest stands. Collection. Increasing the productivity of coniferous forests. Zemizdat, Sofia. 1972. (in Bulgarian)

7. Douhovnikov Yu., Iliev A. Growth and productivity of various types of forest stands in our country. Collection. Increasing the productivity of coniferous forests. Sofia. 1972. (in Bulgarian)

8. Douhovnikov Yu., Bogdanov K. Dynamic stand-quality level and habitat conditions. *Sp. Forestry*. 1979:12. (in Bulgarian)

9. Douhovnikov Yu. General dynamic classification according to stand-quality level. Scientific works, VLTI, vol. XXV. 1980. (in Bulgarian)

10. Facundo J. Oddi, Cecilia Casas, Matías G. Goldenberg, Juan P. Langlois, Jennifer B. Landesmann, Juan H. Gowda, Thomas Kitzberger, Lucas A. Garibaldi. Modeling potential site productivity for *Austrocedrus chilensis* trees in northern Patagonia (Argentina) // *Forest Ecology and Management*. – 2022. – Iss. 524. – 120525/ – P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120525>.

11. Krustanov, Kr., Raykov R. Handbook of dendrobiometry. Determination of the stand-quality level of tall beech stands (Gerhard). *Bulpofor*. 2004:420. (in Bulgarian)

12. Kyle W. Tomlinson, Lourens Poorter, Frans Bongers, Fabian Borghetti, Loes Jacobs, Frank van Langevelde. Relative growth rate variation of evergreen and deciduous savanna tree species is driven by different traits // *Annals of Botany*. – 2014. – V. 114, Iss. 2. – P. 315–324. – <https://doi.org/10.1093/aob/mcu107>.

13. Jarosław Socha, Luiza Tyminska-Czabanska, Ewa Grabska, Stanisław Orzeł. Site index models for main forest-forming tree species in Poland // *Forests*. – 2020. – V. 11. – Article 301. – <https://doi.org/10.3390/f11030301>.

14. Markov, I, Mihov, I. Professor Douhovnikov's Natural indicators. *Forest science*. 2007;4:59-86. (in Bulgarian)

15. Mihov, I. On the Dynamic Determination of the Quality Levels of Tree Growing Stocks. Sat. International Anniversary Scientific Conference, Sopron. 1983. (in Russian)

16. Mihov, I. 1984. Indices for Identifying the Types of Growth of Growing Stocks. *The Forestry Journal*, 1984;4:49-52. (in Bulgarian)

17. Mihov, I. A Method of Identifying the Types of Growth of Growing Stocks and Its Application into the Differentiated Establishment of the Quality Levels of Natural Stands of Scots Pine. Dissertation, 1986:49-52. (in Bulgarian)
18. Mihov, I. and R. Petrin. Indices for Identifying the Types of Growth of Natural Stands of Beech. In: Second Balkan Conference on Studying, Protecting and Using Forest Resources, (3-5 June 1996, Sofia) Volume. I. 1996:50-53. (in Bulgarian)
19. Mihov, I. Forest Mensuration. RIC „Litera“, Sofia. 2005:120-121. (in Bulgarian)
20. Nedyalkov, S. On the Growth and Productivity of Seed-Tree Beech in Our Country. In: Research Papers of the Forest Research Institute - Sofia. 1960;VIII:131-146. (in Bulgarian)
21. Petrin, R. Regularities of the Growth of Beech Stands and Using These in Forest-Management Planning, 1988:41-90. (in Bulgarian)
22. Petrin R. Index curves and types of growth in height of coniferous stands. Write-off „Management and Sustainable Development“. 2021. (in print)
23. Poryazov, Ya., Tonchev T., Dobrichov I. A Forest Surveyor's Handbook: Determination of the Stand-quality level of Natural Stands of Scots Pine, Tyurin A.S. p.42. Determination of the stand-quality level of Seed-Tree Stands of Durmast oak, Hungarian oak, hairy oak and Turkey oak, Wiemenauer. 2004:214. (in Bulgarian)
24. Mihov I., Tonchev T. Growth model for Macedonian pine (*Pinus peuce Griseb.*) stands in Bulgaria. *Silva Balkanica*. 2010;11(1)59–66.
25. Mario Trouillier, Marieke van der Maaten-Theunissen, Tobias Scharnweber, Martin Wilmking. A unifying concept for growth trends of trees and forests – the «Potential natural forest» // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2020. – V. 3. – Article 581334. – <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.581334>.
26. Vieira J., Carvalho A., Campelo F. Tree growth under climate change: evidence from xylogenesis timings and kinetics // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – V. 11. – Article 90. – <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00090>.
27. Yeongwan Seo, Daesung Lee, Jungkee Choi. Growth pattern analysis of major coniferous tree species in South Korea // *Forest Science and Technology*. – 2017. – V. 14 (1). – P. 1-6. <https://doi.org/10.1080/21580103.2017.1409660>.

### Информация об авторе

✉ Румен Димитров Петрин – кандидат с.-х. (доктор\*) наук (\*по болгарской номенклатуре: образовательная и научная степень «доктор»), доцент, научно-исследовательский институт леса Болгарской академии наук, бул. Климента Охридского, 132, г. София, 1756, Болгария. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5831-5983>, e-mail: [lesni4eja2014@gmail.com](mailto:lesni4eja2014@gmail.com).

### Information about the author

✉ *Rumen D. Petrin* – Dr. Sci. (Forestry), Associated Professor, Forest Research Institute in Bulgarian Academy of Sciences, 132, St. Kliment Ohridski Blvd., Sofia, 1756, Bulgaria. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5831-5983>, e-mail: [lesni4eja2014@gmail.com](mailto:lesni4eja2014@gmail.com).

✉ Для контактов/Corresponding author