

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

УДК 630\*5



## ПРЕДЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ «СРЕДНИЙ ДИАМЕТР – СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ» В ДРЕВОСТОЯХ

В.В. Кузьмичев<sup>✉</sup>, А.В. Лебедев

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

**Аннотация.** Степень заполненности пространства древесными растениями имеет некоторый предел, связанный с их биологическими особенностями и уровнем плодородия почв. Значение относительной полноты в нашей стране служит критерием для определения интенсивности рубок ухода, тогда как за рубежом используют «индекс густоты древостоев». Цель исследований – обоснование предельной линии «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях основных лесобразующих пород по данным долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях. Материалом для исследований являлись данные обмеров на постоянных пробных площадях в Лесной опытной даче Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Были выбраны пробные площади, на которых суммы площадей сечений достигали максимальных значений один раз в течение жизни древостоя, а также где суммы площадей сечений дважды достигали максимума. Для проверки обоснованности прохождения линии регрессии через начало координат использовалась программа расчетов уравнения прямой линии со свободным членом. Подтверждена гипотеза о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев среднему расстоянию между деревьями, при этом зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается. В древостоях с максимальными суммами площадей сечений отношение максимального среднего диаметра к среднему расстоянию между деревьями близко к константе. Оно служит хорошим показателем степени заполненности пространства и может быть использовано в производственно-технических расчетах.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01016, <https://rscf.ru/project/23-76-01016/>**

**Ключевые слова:** средний диаметр, среднее расстояние между деревьями, предельная линия, древостой

**Формат цитирования:** Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Предельная линия «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях // Природообустройство. 2024. № 5. С. 119-126. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

Original article

## LIMIT LINE “AVERAGE DIAMETER – AVERAGE DISTANCE BETWEEN TREES” IN STANDS

V.V. Kuzmichev<sup>✉</sup>, A.V. Lebedev<sup>✉</sup>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434.Russia

**Abstract.** The degree of space occupancy with woody plants has a certain limit associated with their biological characteristics and the level of soil fertility. The value of relative density in our country serves as a criterion for determining the intensity of thinning, while abroad the “index of forest density is used”. The purpose of the study is to substantiate the limit line “average diameter – average distance between trees” in stands of the main forest-forming species according to the data of long-term observations on permanent sample plots. The materials for the study were measurement data on permanent sample plots in the Forest experimental station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Sample plots were selected where the sums of the cross-sectional areas reached the maximum values once during the life of the stand, as well as where the sums of the cross-sectional areas reached the maximum twice. To verify the validity of the regression line passing through the origin, a program for calculating the equation of a straight line with a free term was used. The hypothesis

of direct proportionality of the average diameter of forest stands to the average distance between trees is confirmed, while the dependence of the proportionality coefficient on the initial number of trees is not observed. In stands with maximum sums of cross-sectional areas, the ratio of the maximum average diameter to the average distance between trees is close to the constant. It serves as a good indicator of the degree of space occupancy and can be used in production and technical calculations.

**This study has been supported by the grants of the Russian Science Foundation, RSF 23-76-01016, <https://rscf.ru/en/project/23-76-01016/>**

**Keywords:** mean diameter, average distance between trees, maximum density line, forest stands

Citation format: Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Limit line “average diameter – average distance between trees” in stands // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 119-126. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-119-126>

**Введение.** В лесном хозяйстве при планировании рубок ухода, оценке запаса древостоев и выполнении ряда других работ используют относительные оценки, нормируя запас, сумму площадей сечений или густоту древостоев на их предельные значения. Степень заполненности пространства древесными растениями имеет некоторый предел, связанный с их биологическими особенностями и уровнем плодородия почв. Еще в XVIII в. максимально возможную заполненность пространства фитомассой лесоводы стали принимать за идеальное состояние древостоев и присвоили им название «нормальных». В лесу подбирали участки разного возраста на всех почвенных разностях (площадью не менее 1/4 га), «где невозможно добавить ни одного лишнего дерева», и составляли таблицы «нормальных» насаждений. Путем нормирования на эти предельные значения стали получать важный таксационный показатель – относительную полноту древостоев [1, 2].

Значение относительной полноты в нашей стране служит критерием для определения интенсивности рубок ухода [3, 4], тогда как в Северной Америке используют «индекс густоты древостоев» (stand density index) – отношение фактического числа деревьев на 1 га к предельно возможному (при данном среднем диаметре) [5-7]. Относительную полноту у нас применяют и для вычисления запаса древостоев [8-10], а в США и ряде других стран его находят преимущественно по таблицам (уравнениям) объемов стволов [11-13]. Таким образом, относительная полнота и относительная густота – широко используемые таксационные показатели. Они взаимно дополняют друг друга, поэтому есть необходимость использовать оба показателя в отечественной лесохозяйственной практике.

**Цель исследований:** обоснование предельной линии «Средний диаметр – среднее расстояние между деревьями» в древостоях основных лесобразующих пород по данным

долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях.

**Материалы и методы исследований.**

Как известно, три основных таксационных признака: средний квадратический диаметр ( $D$ ), число стволов на единице площади ( $N$ ) и площадь сечений древостоя ( $G$ ) – связаны функциональной зависимостью. Эта формула справедлива и для максимальных значений данных признаков:

$$G_{max} = \left( \frac{\pi}{40000} \right) \cdot D_{max}^2 \cdot N_{max}. \quad (1)$$

Перепишем это уравнение, выделив в качестве независимой переменной квадрат максимального диаметра и сделав некоторые перестановки:

$$D_{max}^2 = \left( \frac{\pi}{40000} \right) \cdot G_{max} \cdot \left( \frac{10000}{N_{max}} \right). \quad (2)$$

Деление площади, га, на число стволов позволяет перейти к новой переменной – площади роста среднего дерева ( $S_{max}$ ):

$$\frac{10000}{N_{max}} = S_{max}. \quad (3)$$

Предположим, что максимальные площади сечений однородной группы древостоев довольно одинаковы. Тогда можно переписать уравнение (2) в новой форме:

$$D_{max}^2 = K \cdot S_{max}. \quad (4)$$

Примем в качестве первой гипотезы, что квадрат среднего диаметра древостоя прямо пропорционален площади роста среднего дерева. Но обычно находят зависимость среднего диаметра древостоя от его густоты (в нашем случае – от среднего расстояния между деревьями ( $L_{max}$ ):

$$L_{max} = \sqrt{S_{max}}. \quad (5)$$

Уравнение (3) примет следующую форму:

$$D_{max} = K \cdot L_{max}. \quad (6)$$

Второй гипотезой будет предположение о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев по отношению к среднему расстоянию между деревьями.

Проверим эти гипотезы на материалах обмеров постоянных пробных площадей в Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [14]. Наиболее представлены в них наблюдения за динамикой культур сосны. Были выбраны обмеры, где суммы площадей сечений достигали максимальных значений один раз в течение жизни древостоя (84 пробы), а также пробы, где суммы площадей сечений дважды достигали максимума (23 пробы с начальной плотностью посадки 32 тыс. экз/га, в том числе 7 проб, где половину сеянцев составляла ель). Одновременно выясним, влияет ли начальная плотность посадки на величину и изменчивость коэффициентов пропорциональности. Материалы обмеров в культурах сосны были разделены на 6 групп в зависимости от плотности посадки: 1 (2,0-3,3 тыс. шт/га, 29 проб); 2 (4,0-6,0 тыс., 29 проб); 3 (7,7-8,8 тыс., 17 проб); 4 (10,0-22,8 тыс., 8 проб); 5 (32 тыс., 16 проб с повторными максимумами); 6 (16 тыс. сосны и 16 тыс. ели, 7 проб с повторными максимумами). Используются также данные с максимальными значениями сумм площадей сечений на 1 га в сосняках естественного происхождения (16 проб), культурах лиственницы (17 проб), культурах дуба (19 проб) и березы (12 проб).

Следует отметить множество факторов, влияющих на рост отдельных древостоев. Часть из них связана с учебно-опытным статусом Лесной опытной дачи, где проверяли разные способы обработки почвы, влияние происхождения семян,

меняли плотность и размещение сеянцев, их возраст и схемы смешения древесных пород, сравнивали разные методы рубок ухода и др. Не менее заметным оказалось антропогенное влияние на рост древостоев (загрязнение, рекреационные нагрузки и пр.). Все эти факторы повышают изменчивость максимальных значений сумм площадей сечений. Кроме того, существуют ошибки исполнителей и влияет длина интервалов времени между измерениями (время обмера и момент наступления максимума могут не совпадать). Для проверки обоснованности прохождения линии регрессии через начало координат использовали программу расчетов уравнения прямой линии со свободным членом, где приводится достоверность его отличия от нуля (уровень значимости  $p < 0,05$ ):

$$Y = a + b \cdot X, \quad (7)$$

**Результаты и их обсуждение.** Результаты расчетов по формулам (7) и (4) для зависимости квадратов средних диаметров от средних площадей роста приводятся в таблице 1. Показатель статистической значимости (р-значение) для всех 6 групп проб оказался выше 0,05, что говорит о недостоверном отличии свободного члена в уравнении (7) от нуля. В то же время при их объединении в один массив (128 пробных площадей) уравнение регрессии достоверно отклоняется от нулевой точки. Во всех уравнениях наблюдается большой разброс точек вокруг линий регрессии, о чем свидетельствуют как довольно низкие значения коэффициентов детерминации, так и большие величины стандартных ошибок уравнений.

**Таблица 1. Коэффициенты уравнений (7) и (4) и показатели точности расчетов для зависимости квадратов средних диаметров от средних площадей роста**

**Table 1. Coefficients of equations (7) and (4) and indicators of the accuracy of calculations for the dependence of squares of average diameters on average growth areas**

Группы Groups	Уравнение (7) / Equation (7)				Уравнение (4) / Equation (4)			N
	Оценки параметров Assessment of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметра Assessment of the parameter	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (р-значение) (P-value)	b	R <sup>2</sup>	SE	K	R <sup>2</sup>	SE	
1	65,0 (0,14)	28,4	0,506	70,8	36,0	0,943	72,4	29
2	24,2 (0,42)	31,8	0,712	45,0	34,8	0,974	44,7	29
3	2,3 (0,91)	37,7	0,914	24,0	38,1	0,992	23,3	17
4	42,6 (0,21)	27,9	0,845	38,5	33,9	0,962	91,6	7
5	18,4 (0,94)	34,5	0,938	83,5	35,5	0,974	83,5	32
6	28,3 (0,19)	30,7	0,975	60,0	31,9	0,990	33,1	14
<b>Итого / Total</b>	<b>27,4 (0,40)</b>	<b>32,6</b>	<b>0,926</b>	<b>63,2</b>	<b>34,5</b>	<b>0,973</b>	<b>65,1</b>	<b>128</b>

На рисунке 1 представлена зависимость квадратов средних диаметров древостоев от площадей роста средних деревьев по уравнению (4). Коэффициент пропорциональности равен 34,5, следовательно, квадрат диаметра среднего дерева в 35 тыс. раз меньше его площади роста. Несмотря на то, что гипотеза о пропорциональности площади сечений среднего дерева в древостоях с максимальными суммами площадей сечений средней площади роста деревьев подтверждается, изменчивость коэффициента пропорциональности  $K$  довольно велика ( $CV = 19,6\%$ ).

После этого использовали уравнение (7) для анализа зависимости средних диаметров древостоев от средних расстояний между деревьями и сравнили с результатами вычислений по уравнению (6) (табл. 2). Зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается, поскольку нет тенденции в его изменениях от густоты посадки.

Изменчивость коэффициента пропорциональности в этом случае в два с лишним раза меньше ( $CV = 8,3\%$ ), что позволяет использовать среднюю линию в качестве придержки при оценке степени заполненности пространства в конкретных древостоях путем вычисления коэффициента пропорциональности. Для зависимости средних диаметров древостоев от среднего расстояния между деревьями оказалось достоверным отличие от нуля свободного члена в смешанных посадках сосны и ели и в общем массиве данных. В этом случае очевиден фактор, повлиявший на положение выравнивающей линии, – совместное произрастание сосны и ели в течение 60 лет. Был проверен вариант этой зависимости по тем же пробам для смешанных

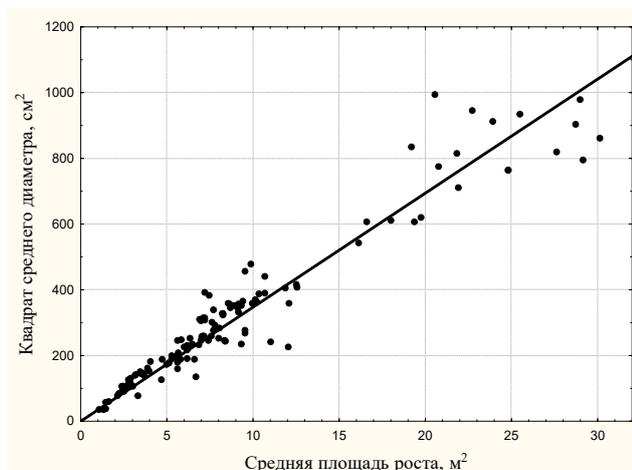


Рис. 1. Зависимость квадрата среднего диаметра от средней площади роста

Fig. 1. Dependence of the square of the average diameter on the average growth area

древостоев (сосна и ель – в молодом возрасте, сосна и примеси других пород – после 60 лет). Свободный член уравнения оказался близким к нулю, а коэффициент пропорциональности – равным 7,43. Следовательно, рассмотрение данной зависимости только для сосны в смешанном насаждении приводит к ошибочным выводам. Поэтому данные для смешанных насаждений были исключены из рассмотрения. Результаты расчетов приводятся в таблице 3, где также же представлены результаты для связи диаметров и средних расстояний по сосне, лиственнице, дубу и березе.

Как следует из приведенных данных, в культурах сосны после исключения смешанных насаждений свободный член уравнения оказался лишним (рис. 2). Это же наблюдается в культурах лиственницы и березы. Пробы в сосняках естественного происхождения и дуба демонстрируют отклонение от общего правила, но малое число наблюдений не позволяет определить причины такого результата. В целом же можно считать, что вторая гипотеза подтверждается полученными данными.

Коэффициент пропорциональности в соотношении средних диаметров древостоев и средних расстояний при максимальных суммах площадей сечений позволяет получить линию предельных средних диаметров при разной текущей густоте (рис. 3).

В древостое с низкой густотой посадки (рис. 3а) на первом этапе происходит увеличение среднего диаметра на фоне слабого отпада.

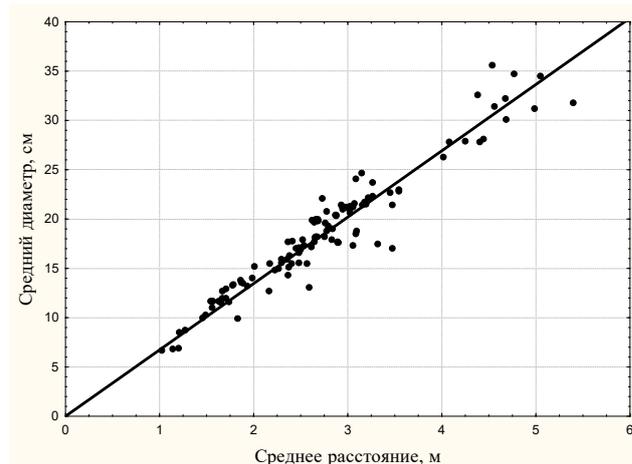


Рис. 2. Связь среднего диаметра древостоев со средним расстоянием при максимальных суммах площадей сечений в культурах сосны

Fig. 2. Relationship between the average diameter of forest stands and the average distance at the maximum sums of cross-sectional areas in pine cultures

Таблица 2. Коэффициенты уравнений (7) и (6) и показатели точности расчетов для зависимости средних диаметров древостоев от средних расстояний между деревьями  
Table 2. Coefficients of equations (7) and (6) and indicators of the accuracy of calculations for the dependence of the average diameters of forest stands on the average distances between trees

Группы Groups	Уравнение (7) / Equation (7)				Уравнение (6) / Equation (6)			N
	Оценки параметров Assessments of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметра Assessments of parameters	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (p-значение)	b	R <sup>2</sup>	SE	K	R <sup>2</sup>	SE	
1	3,21 (0,20)	3,66	0,594	2,30	6,79	0,985	2,32	29
2	1,67 (0,32)	6,03	0,776	1,37	6,63	0,994	1,37	29
3	0,34 (0,28)	6,82	0,927	0,83	6,96	0,998	0,80	17
4	3,02 (0,23)	5,46	0,843	1,17	6,72	0,990	1,57	7
5	0,63 (0,36)	6,60	0,971	1,74	6,76	0,994	1,74	32
6	2,14 (0,03)	5,86	0,984	1,35	6,34	0,996	1,61	14
<b>Итого / Total</b>	<b>1,48 (0,01)</b>	<b>6,22</b>	<b>0,940</b>	<b>1,70</b>	<b>6,68</b>	<b>0,992</b>	<b>1,77</b>	<b>128</b>

Таблица 3. Коэффициенты уравнений (6) и (3) и показатели точности расчетов  
Table 3. Coefficients of equations (6) and (3) and indicators of the accuracy of calculations

Варианты Options	Уравнение (6) / Equation (6)				Уравнение (3) / Equation (3)			N
	Оценки параметров Assessments of parameters		Достоверность и ошибка уравнения Validity and error of the equation		Оценки параметров Assessments of parameters	Достоверности и ошибка уравнения Validity and error of the equation		
	a (p-значение)	b	R <sup>2</sup>	SE	K	R <sup>2</sup>	SE	
<b>Сосна (культуры) Pine (Cultures)</b>	0,68 (0,28)	6,51	0,889	2,10	6,73	0,988	2,10	114
<b>Сосна (естественное происхождение) Pine (natural origin)</b>	2,88 (0,03)	6,07	0,972	1,60	6,70	0,996	1,86	16
<b>Лиственница / Larch</b>	2,98 (0,42)	8,21	0,879	4,41	8,81	0,989	4,37	17
<b>Дуб / Oak</b>	2,13 (0,01)	6,17	0,982	1,19	5,66	0,996	1,39	19
<b>Береза / Birch</b>	1,56 (0,14)	5,40	0,968	0,83	5,86	0,998	0,89	12

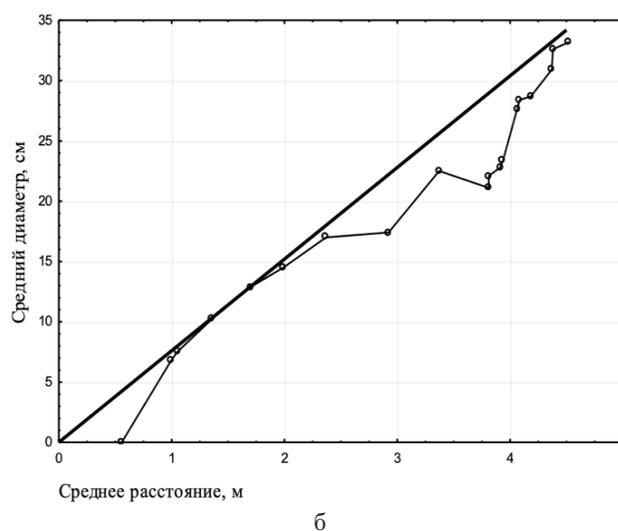
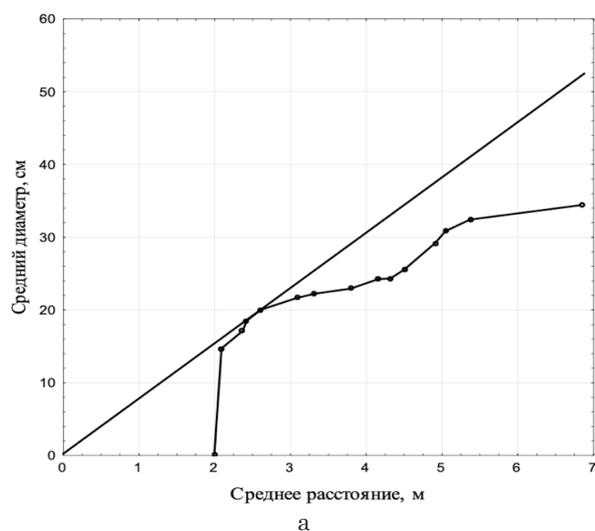


Рис. 3. Связь среднего диаметра древостоев со средним расстоянием при максимальных суммах площадей сечений в культурах сосны  
(а – пробная площадь 4/Ч, 2 тыс. экз/га; б – 4/Б, 32 тыс. экз/га)

Fig. 3. Relationship between the average diameter of forest stands and the average distance at the maximum sums of cross-section areas in pine cultures  
(a – sample area 4/h, 2 thousand inst./ha; b – 4/b, 32 thousand inst./ha)

На стадии жердняка наблюдается близкое к предельному состояние древостоя (и максимально возможные средние диаметры), после чего начинается механическое увеличение среднего диаметра за счет отпада (линия изреживания близка к горизонтальной). Следующий этап заключается в том, что текущий прирост в толщину увеличивается и приближает линию изреживания к предельному состоянию. Однако этот этап сменяется распадом, когда преобладает естественное изреживание. В культурах высокой густоты посадки (рис. 3б) на первом этапе происходит значительный отпад, второй этап (близкое к предельному состоянию) длится дольше, а третий – короче, чем в редких культурах. Четвертый этап завершается новым приближением к пределу, а пятый этап еще не наступил.

Таким образом, начальная густота посадки существенно влияет на темпы отпада деревьев в древостоях. Остается невыясненным влияние второго существенного фактора – характера размещения растений на площади, но для анализа его влияния имеющегося материала недостаточно.

В современных условиях повышаются требования к точности определения запаса древесины до рубки, поэтому использование метода относительной полноты (или относительной доли запаса «нормального» древостоя) становится недостаточным. Как следует из материалов обмеров на постоянных пробных площадях, древостои находятся в состоянии предельной полноты недолго, а понижение полноты приводит к уменьшению видовых чисел стволов.

Некоторые уточнения, связанные с учетом протяженности крон по стволу [15] или производительности древостоев (класса бонитета или группы классов), обобщенные в работе А.З. Швиденко с соавт. [16], проблемы не решают. Детально изучил эту проблему в начале прошлого века А.А. Крюденер [17]. Располагая огромным материалом обмеров пробных площадей с рубкой модельных деревьев, он составил таблицы определения запаса древостоев основных лесобразующих пород Европейской России (сосна, ель, береза, осина, дуб, липа, ясень, граб) с использованием нескольких входов. Для сосны и березы даны отдельные таблицы таежных и лесостепных древостоев. При составлении таблиц объемов стволов отдельных деревьев сосны в таежной зоне он использовал деление местообитаний на 5 типов, внутри каждой из групп – деление на 3 типа по протяжению крон, а затем – по 3 возрастным этапам, что позволило установить однородные группы по полнодревесности и форме стволов.

В таблице для определения запаса сосняков таежной зоны входами служат средние высота и диаметр господствующей части древостоев, а также сумма площадей сечений на 1 га. Таблицы дифференцированы по 5 типам местообитаний и 3 группам возраста. При объединении в одном уравнении связи средних высот, диаметров, групп местообитаний и возрастных групп оказалось, что достоверное влияние на величину запаса оказывают не только эти показатели, но и их квадраты, что свидетельствует о криволинейном характере зависимостей. Величины бета-коэффициентов (оценивающие влияние каждого из показателей на результирующий признак) уменьшаются в следующем порядке: средняя высота, группы местообитаний, средний диаметр и возраст. Но возрастной диапазон ограничен (65-200 лет), а наибольшее влияние возраста на форму ствола проявляется ранее.

Использование таблиц (уравнений) объемов стволов требует наличия материалов сплошных переучетов на определенной площади, но желаемую точность не обеспечивает. А.В. Богачев [18] проанализировал точность определения запаса древостоев по местным разрядным таблицам объемов стволов. Он подтвердил вывод Ф.П. Моисеенко [19] о том, что географический район не оказывает существенного влияния на полнодревесность стволов. Рассматривая вопрос о возможности таксации насаждений по среднему коэффициенту формы для породы, он отметил, что использование 32%-ного доверительного интервала при оценке точности таблиц объемов приводит к тому, что третья часть прогнозируемых данных выходит за пределы декларируемого норматива.

Изменчивость среднего видового числа на 5%-ном уровне значимости составляет для разных пород в среднем 12%, а с учетом ошибок округлений ввиду несовпадения фактических и табличных высот по ступеням толщины погрешности будут выше. А.В. Богачев приводит примеры фактических ошибок при использовании таблиц объемов в Ленинградской и Рязанской областях (более 20%). В связи с этим им разработаны регрессионные уравнения для определения объемов стволов с использованием множественных зависимостей (от возраста, высоты, диаметра и среднего протяжения крон), позволяющие снизить ошибку определения запаса древостоев до 6,4% на 5%-ном уровне значимости. Он не учел ошибку определения объемов стволов при использовании стереометрических формул, которая составляет 3%.

## Выводы

Подтверждена гипотеза о прямой пропорциональности среднего диаметра древостоев по отношению к среднему расстоянию между деревьями, при этом зависимость коэффициента пропорциональности от начального числа деревьев не наблюдается. В древостоях с максимальными суммами площадей сечений

отношение максимального среднего диаметра к среднему расстоянию между деревьями близко к константе. Оно служит хорошим показателем степени заполненности пространства и может быть использовано в производственно-технических расчетах для определения запаса древостоев и при проектировании интенсивности и повторяемости рубок ухода.

## Список использованных источников

1. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели: монография. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
2. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
3. Багаев Е.С. Нормативы полноты нормальных осинового древостоев Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2017. № 4. С. 40-45. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.04.
4. Турчина Т.А. Оптимизация режима прореживания и проходных рубок в пойменных черноольшаниках // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4, № 3 (15). С. 84-99. DOI: 10.12737/6272.
5. Possato E.L., Calegario N., Nogueira G.S., Melo E.A., Alves J.A. Estimate of stand density index for Eucalyptus urophylla using different fit method // Revista Árvore. 2016. № 40 (5). Pp. 921-929. DOI: 10.1590/0100-67622016000500016.
6. Pretzsch H., Biber P. A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index // Forest Science. 2005. № 51 (4). Pp. 304-320. DOI: 10.1093/forestscience/51.4.304.
7. Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests // J. Agric. Res. 1933. Vol. 46. Pp. 627-638.
8. Вайс А.А. Определение запаса елового элемента в условиях Среднесибирского плоскогорья // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-1 (106). С. 108-112. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.017.
9. Загребев В.В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Шведенко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева. М.: Колос, 1990. 495 с.
10. Нагимов З.Я., Онучин И.Е., Нагимов В.З. Стандартные значения полноты и запаса кедровых древостоев в зеленомошной группе типов леса // Аграрный вестник Урала. 2016. № 7 (149). С. 34-39.
11. Evert F. Compatible systems for the estimation of tree and stand volume // The Forestry Chronicle. 1976. Pp. 15-16.
12. Gallagher D.A., Bullock B.P., Montes C.R., Kane M.B. Whole Stand Volume and Green Weight Equations for Loblolly Pine in the Western Gulf Region of the United States through Age 15 // Forest Science. 2019. Vol. 65 (4). Pp. 420-428. DOI: 10.1093/forsci/fxy068.
13. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States // Forests. 2021. Vol. 12 (9). id 1270. DOI: 10.3390/f12091270.
14. Дубенок Н.Н. и др. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии / Н.Н. Дубенок, В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев. М.: Наука, 2020. 382 с.
15. Богачев А.В. Лесотаксационные исследования. М.: ВНИИЛМ, 2007. 344 с.

## References

1. Kuzmichev V.V. Regularities of forest stand dynamics: principles and models. Monograph. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p. ISBN978-5-02-019148-8.
2. Kuzmichev V.V. Regularities of forest stand growth / V.V. Kuzmichev, V.V. Novosibirsk, Nauka. 1977. 160 p.
3. Bagaev E.S. Standards for the completeness of normal aspen stands of the Kostroma Region / E.S. Bagaev // Forestry management information. 2017. № 4. P. 40-45. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.04.
4. Turchina T.A. Optimization of the regime of thinning and passage felling in floodplain black alder forests / T.A. Turchina // Forestry Journal. 2014. V. 4, No 3(15). P. 84-99. – DOI: 10.12737/6272.
5. Possato E.L. Estimate of stand density index for Eucalyptus urophylla using different fit method / E.L. Possato, N. Calegario, G.S. Nogueira, E.A. Melo, J.A. Alves // Revista Árvore. 2016. № 40(5). P. 921-929. – DOI: 10.1590/0100-67622016000500016.
6. Pretzsch H. A Re-Evaluation of Reineke's Rule and Stand Density Index / H. Pretzsch, P. Biber // Forest Science. 2005. № 51(4). P. 304-320. – DOI: 10.1093/forestscience/51.4.304.
7. Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests / L.H. Reineke // J. Agric. Res. 1933. V. 46. P. 627-638.
8. Vais A.A. Determination of the reserve of the spruce element in the conditions of the Central Siberian Plateau / A.A. Vais // International Research Journal. 2021. № 4-1(106). P. 108-112. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.017.
9. Zagreev V.V. Union-wide standards for taxation of forests / V.V. Zagreev, V.I. Sukhikh, A.Z. Shvedenko, N.N. Gusev, A.G. Moshkalev. M.: Kolos, 1990, 495 p. 10. Nagimov Z.Ya. Standard values of thickness and reserve of cedar stands in the green-moss group of forest types / Z.Ya. Nagimov I.E. Onuchin, V.Z. Nagimov // Agrarian bulletin of the Urals. 2016. № 7(149). P. 34-39.
11. Evert F. Compatible systems for the estimation of tree and stand volume / F. Evert // The Forestry Chronicle. – 1976. – P. 15-16.
12. Gallagher D.A. Whole Stand Volume and Green Weight Equations for Loblolly Pine in the Western Gulf Region of the United States through Age 15 / D.A. Gallagher, B.P. Bullock, C.R. Montes, M.B. Kane // Forest Science. 2019. Vol. 65(4). P. 420-428. – DOI: 10.1093/forsci/fxy068.
13. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States / M. Sharma // Forests. 2021. Vol. 12(9). id 1270. – DOI: 10.3390/f12091270.
14. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Results of experimental work for 150 years in the Forest experimental station of the Timiryazev Agricultural Academy / D N.N.ubnok, V.V. Kuzmichev, A.V. Lebedev. Moscow, Nauka Publ., 2020. 382 p.

16. Швиденко А.З. и др. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы: Монография / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашченко, С. Нильсон, Ю.И. Булуй. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008. 886 с.

17. Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Закономерности изменения размеров и качества древесины деревьев в лесах Европейской России (по материалам А.А. Крюденера): монография. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2022. 96 с.

18. Моисеенко Ф.П. Таблицы для сортиментного учета леса на корню и методика их составления (сосна, ель, дуб, ясень, клен, граб, береза, осина, ольха черная, липа). Минск: Госиздат БССР, 1961. 584 с.

15. Bogachev A.V. Forest taxation studies / A.V. Bogachev. Moscow, VNIILM Publ., 2007. 344 p.

16. Shvidenko A.Z. Tables and models of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia. Normative and reference materials. Monograph. / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nilson Yu.I. Bului. Moscow, Federal forestry agency, 2008. 886 p.

17. Kuzmichev V.V. Regularities of the change of sizes and quality of the wood of trees in the forests of the European Russia (according to the materials of A.A. Kryudener) / V.V. Kuzmichev, A.V. Lebedev. Monograph. Kolodriv: State natural reserve "Kolovsky forest", 2022. 96 p.

18. Moiseenko F.P. Tables for standing forest assortment accounting and methods of their compilation. (Pine, spruce, oak, ash, maple, hornbeam, birch, aspen, black alder, linden) / F.P. Moiseenko. – Minsk: Gosizdat BSSR, 1961. 584 p.

### Об авторах

**Валерий Васильевич Кузьмичев**, д-р биол. наук, профессор, заведующий лабораторией кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; РИНЦ AuthorID: 81343; Scopus AuthorID: 6602535129; kuzmichev33valery@mail.ru

**Александр Вячеславович Лебедев**, д-р с.-х. наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства; WoS ResearcherID: AAX-9891-2020; Scopus AuthorID: 57214907823; РИНЦ AuthorID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

### About the authors

**Valery V. Kuzmichev**, DSc (Bio), professor, head of the laboratory of the department of agricultural land reclamation, forestry and land use planning; RSCI AuthorID: 81343; Scopus AuthorID: 6602535129; kuzmichev33valery@mail.ru

**Alexander V. Lebedev**, DSc (Agro), associate professor of the department of agricultural land reclamation, forestry and land use; WoS ResearcherID: AAX-9891-2020; Scopus AuthorID: 57214907823; RSCI AuthorID: 738683; alebedev@rgau-msha.ru

### Критерии авторства / Criteria of authorship

Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 05.02.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.10.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 18.10.2024