



DOI 10.21178/2079–6080.2020.3.48
УДК 630*521.3 + 630*524.14

Определение диаметров деревьев липы по замерам пней

© А.К. Габделхаков, З.З. Рахматуллин, М.В. Мартынова,
И.И. Фазлутдинов, И.А. Муллагалеев

Estimating breast height diameters from stumps for a linden tree

A.K. Gabelkhakov, Z.Z. Rakhmatullin, M.V. Martynova, I.I. Fazlutdinov, I.A. Mullagaleev
(Federal State Budget Education Institution of Higher Education “Bashkir State Agrarian University”)

The diameter of the tree at a height of 1.3 m (DBH) is the simplest, most common and most important biometric indicator in forest taxation and closely correlates with volume, height and biomass. However, when the trees are cut down, forestry and green building workers have to estimate DBH only on stumps that act as an indicator of the size of the trees. The aim of the study is to verify in local conditions the existing regulatory tables to establish DBH from the diameter of the stump (DST). In this study, a number of simple linear models have been developed and evaluated that display the ratio of DBH versus DST of sprout stands of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.). To do this, 1477 measurement pairs DBH and DST were taken at 8 temporary test plots laid in the Ufa forestry of the Republic of Bashkortostan. Processing of the field material was carried out by methods generally accepted in forest taxation and variation statistics. It was found that the taper between DST and DBH was 16 %. For the dependence $DBH = b \cdot DST$ for each trial area and the combined sample, the coefficient b , significance, errors (standard, relative, systematic and random) were established. For the combined sample, this regression model accounts for 95.4 % of the variability of DBH for DST, for the trial plots this indicator (R^2) is in the range from 78.9 % to 94.9 %. Verification of the obtained data with normative indicators for the forests of the Urals, despite a slight overestimation of the latter, indicates the possibility of their application in local conditions. However, taking into account that the laid trial plots belong only to the first and second rank of heights, the question remains of their applicability to other ranks, for seed stands and trees of free growth, for example, in urban conditions.

Keywords: diameter at a height of 1.3 m, stump diameter, stem taper, linear model, significance level, errors, Bashkir Pre-Urals

Определение диаметров деревьев липы по замерам пней

А.К. Габделхаков, З.З. Рахматуллин, М.В. Мартынова, И.И. Фазлутдинов, И.А. Муллагалеев

Диаметр дерева на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) является самым простым, наиболее распространенным и наиболее важным биометрическим показателем в лесной таксации и тесно коррелирует с объемом, высотой и биомассой. Однако, когда деревья спилены, работникам лесного хозяйства и зеленого строительства приходится оценивать $d_{1,3}$ только по пням, которые выступают в качестве индикатора размера деревьев. Целью исследования является верификация в местных условиях существующих нормативных таблиц по установлению $d_{1,3}$ от диаметра пня (d_n). В данном исследовании был разработан и оценен ряд простых линейных моделей, отображающих соотношение $d_{1,3}$ и d_n порослевых древостоев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). Для этого на 8 временных пробных площадях, заложенных в Уфимском лесничестве Республики Башкортостан, проведено 1477 пар измерений $d_{1,3}$ и d_n . Обработка полевого материала проведена общепринятыми в лесной таксации и вариационной статистике методами. Установлено, что сбеж между d_n и $d_{1,3}$ составил 16 %. Для зависимости $d_{1,3} = b \cdot d_n$ по каждой пробной площади и объединенной выборки установлены величина коэффициента b , значимость, ошибки (стандартная, относительная, систематическая и случайная). Для объединенной выборки эта регрессионная модель объясняет 95,4 % вариабельности $d_{1,3}$ по d_n , по пробным площадям этот показатель (R^2) находится в диапазоне от 78,9 % до 94,9 %. Верификация полученных данных с нормативными показателями для лесов Урала, несмотря на небольшое завышение последних, указывает на возможность их применения в местных условиях. Однако, учитывая принадлежность заложенных пробных площадей только к первому и второму разряду высот, остается открытым вопрос их применимости при других разрядах, для древостоев семенного происхождения и деревьев свободного роста, например, в городских условиях.

Ключевые слова: диаметр на высоте 1,3 м, диаметр на высоте пня, сбеж ствола, линейная модель, уровень значимости, ошибки, Башкирское Предуралье

Габделхаков Айдар Кавилович – канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

E-mail: aliya201199@mail.ru

Рахматуллин Загир Забинович – канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

E-mail: zagir1983@mail.ru

Мартынова Мария Викторовна – канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

E-mail: maaarusssia@mail.ru

Фазлутдинов Ильяс Илшатович – аспирант кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

E-mail: solnc2007@yandex.ru

Муллагалеев Ильнур Афрузович – аспирант кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

E-mail: ilnuram@mail.ru

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

Телефон: +7(3472)527252

Введение

В таксации леса существует целый ряд методов оценки объема разнородной совокупности деревьев, но наиболее предпочтительными для этих целей являются таблицы объемов деревьев. По построению в зависимости от количества применяемых независимых переменных они обычно делятся на три типа: с одним, двумя и несколькими входами. При использовании объемных таблиц с одним входом необходимо знать только диаметр на высоте 1,3 м, в таблицах с двумя входами — еще и высоту дерева (или разряд высот) при средней форме ствола, в таблицах с несколькими входами объем зависит кроме выше перечисленных параметров — от коэффициента формы, а в некоторых случаях и от других лесобиологических признаков дерева [6].

Таблицы объемов с одним входом являются более предпочтительными, поскольку диаметр на высоте 1,3 м является легко и точно измеряемым параметром. Ввиду значительной вариабельности объемов деревьев даже в пределах одного диаметра, в практике лесного хозяйства применяются сортиментные таблицы с входами в виде группы диаметров (ступеней толщины), группы высот (разрядов высот) при среднем коэффициенте формы, составленные для отдельных регионов.

В лесном хозяйстве бывают случаи необходимости оценки биометрических параметров уже удаленных деревьев для описания их структуры, восстановления таксационной характеристики древостоя, произраставшего до рубки, оценки ущерба от незаконной рубки и экологических нарушений, отслеживания истории рубки, приобретения навыков в глазомерном установлении процента запаса и полноты удаленного при рубке древостоя и др. [18, 20–22, 24]. Оперировать в таких случаях приходится только параметрами пней. Поскольку диаметр пня имеет высокую корреляцию с диаметром на высоте 1,3 м, разработка и применение моделей, использующих диаметр пня в качестве независимой переменной, является полезным инструментом

для оценки диаметра на высоте 1,3 м удаленных деревьев. Существует много исследований, посвященных этой взаимосвязи для различных видов деревьев в самых разных странах [1–4, 13, 21–22, 24, 29]. Исследователи оценивают возможность применения различных видов уравнений для решения этой задачи [5, 24, 25], влияние высоты пня на точность определения диаметра на высоте 1,3 м [8, 21, 27, 28]. Подчеркивается, что смещения в определении диаметров на высоте 1,3 м приводят к искажениям в оценке запаса [8, 20, 27]. При установлении объема удаленного дерева, для снижения ошибки в расчетах требуется знание его высоты [29].

Кроме регрессионных моделей для перехода от диаметров пней к диаметрам на высоте 1,3 м разработаны специальные нормативы в виде таблиц [10–12, 14, 15, 18, 29]. Эти таблицы имеют как общий, так и региональный характер. Вместе с тем отмечается, что они недостаточно точны, не учитывают особенностей района произрастания древостоев, разряда высот, полноты и многого другого. Поэтому возникает необходимость создания местных нормативов и методики оценки вырубленного запаса, отвечающей современным требованиям и условиям роста деревьев [5, 8, 17, 20].

Материалы и методы

Целью исследования является установление простых линейных регрессионных моделей зависимости диаметра стволов липы порослевого происхождения на высоте 1,3 м от диаметра пня для верификации в местных условиях существующих нормативных таблиц. Для реализации этой цели решались следующие задачи: получить линейные уравнения с одинарным коэффициентом для перехода от диаметров пня (d_n) к диаметрам на высоте 1,3 м — $d_{1,3} = f(d_n)$; оценить ошибки регрессионных моделей; составить таблицу для определения $d_{1,3}$ от d_n ; сравнить результаты составленной таблицы с существующими нормативами.

Работы проведены в Дмитриевском участковом лесничестве Уфимского лесничества Республики Башкортостан. Объект находится в лесостепной зоне Южно-Уральского лесостепного района европейской части Российской Федерации [16]. В этих условиях преобладают порослевые древостои липы, относящиеся к II и III классам бонитета.

Закладка пробных площадей, вычисление таксационных показателей проведены общепринятыми в лесной таксации методами [6]. Измерение диаметров на высоте 1,3 м и диаметра пня растущих деревьев в коре производилось в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с точностью до 1 см. По требованиям инструктивных документов высотой пня считается точка, находящаяся на высоте не более 10 см при рубке деревьев тоньше 30 см (для более толстых – не более одной трети диаметра среза) от поверхности почвы, а при обнажении корней – от корневой шейки [19].

Определение применимости полученных уравнений выполнялось по коэффициенту детерминации (R^2), стандартной (S_e), относительной (S_o), систематической (Q_p) и случайной (Q_s) ошибкам (формулы 1–5):

$$R^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} * \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \right) \quad (1)$$

$$S_e = \pm \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (2)$$

$$S_o = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (3)$$

$$Q_p = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} 100\% \right) \quad (4)$$

$$Q_s = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} 100\% - Q_p \right)^2} \quad (5)$$

где y_i – фактические значения $d_{1,3}$;
 \hat{y}_i – расчетные значения $d_{1,3}$, вычислен-

ные при подставлении в регрессионные уравнения значений $d_{1,3}$;

\bar{y} – среднеарифметические значения y_i ;

n – объем выборки;

p – число параметров уравнений.

Для оценки того, различаются ли уравнения $d_{1,3} = f(d_{1,3})$ между возрастными классами, был использован «нелинейный метод дополнительной суммы квадратов» [23, 25]. Этот метод основан на создании полных и сокращенных моделей и применяется для выявления различий между видами деревьев и географическими регионами [22], возрастными классами [25]. В полной модели каждый возрастной класс определяется с помощью различных наборов параметров, в то время как в сокращенной модели все возрастные классы определяются с одинаковыми параметрами. Равенство полной и сокращенной моделей проверяется с помощью F-теста:

$$F = \frac{SSE_R - SSE_F}{df_R - df_E} \div \frac{SSE_F}{df_F} \quad (6)$$

где SSE_R и df_R – сумма квадратов ошибок и степень свободы сокращенной модели, а SSE_F и df_F – сумма квадратов ошибок и степень свободы полной модели.

Если значение F_{ϕ} , рассчитанное по формуле 6, принимает большее значение, чем табличное $F_{\text{таб}}$ при вероятности 95 % и соответствующем числе степеней свободы, то нулевая гипотеза о равенстве моделей отвергается. Следовательно, между возрастными классами в отношении моделей имеется статистическая разница и, наоборот, в случае принятия нулевой гипотезы делается вывод о том, что нет существенной разницы между возрастными классами в отношении моделей $d_{1,3}$ к $d_{1,3}$, и эта связь может быть описана одним уравнением.

Дополнительно сравнение рядов осуществлялось путем расчета среднеквадратического отклонения (σ , %) [7]:

$$\sigma = 200 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i - b_i}{a_i + b_i} \right)^2}{n-1}} \quad (7)$$

где a_i и b_i – попарно сравниваемые данные $d_{1,3}$; n – число сравниваемых пар, шт.

Всего на 8 пробных площадях (ПП) обмеру было подвергнуто 1477 деревьев липы мелколистной. Девятая ПП (149 стволов липы) была заложена для осуществления контроля. Все материалы обработаны стандартными ме-

тодами вариационной статистики [9] с применением компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica.

Средние таксационные характеристики древостоев приведены в таблице 1. Как видим, возраст древостоев варьирует от 28 до 100 лет, высота – от 14 до 24 метров, диаметр – от 10 до 32 сантиметров, класс бонитета – от II до III, относительная полнота – от 0,7 до 1,0. Пробные площади представлены типом леса липняк снытьевый, тип условий местопроизрастания – C_2 .

Таблица 1
Таксационные показатели древостоев липы мелколистной на пробных площадях

Номер ПП	Возраст, лет	Состав	Средние		Класс бонитета	Число стволов, экз./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га	Средний разряд высоты
			Высота, м	Диаметр, см						
1	28	9ЛП1ОС+В, КЛ	14,0	12,4	II	2156	25,56	0,8	181	2
2	38	8ЛП2Б+ В, КЛ	15,0	10,4	III	2690	24,12	0,7	161	1
3	70	8ЛП2Б+КЛ	19,8	24,8	III	770	33,09	0,8	314	2
4	75	10ЛП+В	21,5	25,2	II	780	38,73	1,0	361	2
5	85	10ЛП+ДН	19,8	26,0	III	749	40,91	0,7	388	2
6	97	9ЛП1КЛ+В	22,1	32,5	III	530	33,79	0,8	326	2
7	100	10ЛП+Б+КЛ+Д+В	23,4	30,6	II	519	37,43	0,9	369	1
8	100	9ЛП1Б+Д+В+КЛ	22,6	29,0	II	625	42,90	1,0	426	1
9	100	9ЛП1Д+В	24,4	32,0	II	473	36,25	0,8	362	1

Результаты и обсуждение

Статистический анализ исходного материала показал следующее (табл. 2). Ряды распределения диаметров на высоте 1,3 м древостоев пробных площадей в целом соответствуют нормальному распределению: коэффициенты асимметрии и эксцесса лежат в пределах своих двукратных основных ошибок (за исключением древостоя ПП 2). Диаметры на высоте пня для пяти древостоев характеризуются нормальным распределени-

ем, для четырех – незначительными величинами растянутости (эксцесс – отрицательный) и асимметричности рядов. Объем материала достаточен для достоверной характеристики средних величин, поскольку точность опыта не превышала 3 %. Коэффициент вариации по пробным площадям изменяется для диаметров на высоте 1,3 м от 19,5 % до 40,7 %, для диаметров пня – от 19,6 % до 38,9 % для 75- и 38-летних древостоев соответственно.

Таблица 2

Статистические показатели перечета диаметров деревьев липы мелколистной на пробных площадях

Пробная площадь		Статистики рядов распределения												
Литер	А, лет	D, см	n, экз.	X, см	Me, см	Mo, см	S ²	S	X _{мин} , см	X _{макс} , см	Cv, %	Cs, %	As	Ex
Диаметр в коре на пне (d _п)														
1	28	12,4	176	14,1	14	16	25,64	5,08	4	27	36	2,7	0,26	-0,55
2	38	10,3	228	11,5	11	6	19,77	4,46	4	22	39	2,6	0,28	-0,85
3	70	24,8	169	28,9	30	32	52,94	7,30	10	47	25	1,9	-0,14	0,03
4	75	25,2	243	30,1	30	34	34,67	5,90	16	42	20	1,3	-0,17	-0,72
5	85	26,0	235	29,7	30	32	37,62	6,15	16	48	21	1,4	0,25	-0,17
6	97	32,5	108	36,8	38	43	55,25	7,47	14	52	20	2,0	-0,75	0,51
7	100	30,6	177	35,5	36	36	95,18	9,78	13	66	28	2,1	0,20	0,11
8	100	29,0	141	33,0	34	35	42,23	6,52	15	50	20	1,7	-0,15	0,08
9	100	32,0	149	37,2	38	42	56,08	7,51	11	55	20	1,7	-0,78	1,04
Диаметр в коре на высоте 1,3 м (d _{1,3})														
1	28	12,4	176	11,7	12	12	17,18	4,16	3	22	36	2,7	0,12	-0,66
2	38	10,4	228	9,4	9	6	14,68	3,84	3	19	41	2,7	0,34	-0,77
3	70	24,8	169	24,0	24	28	35,32	5,96	9	38	25	1,9	-0,13	-0,09
4	75	25,2	243	24,7	24	24	23,10	4,82	15	36	20	1,3	0,12	-0,76
5	85	26,0	235	25,3	25	24	26,90	5,20	13	40	20	1,3	0,23	-0,28
6	97	32,5	108	31,6	32	32	44,97	6,74	13	46	21	2,1	-0,24	-0,02
7	100	30,6	177	29,6	30	31	58,94	7,70	11	50	26	2,0	-0,08	-0,18
8	100	29,0	141	28,4	28	31	38,33	6,21	15	43	22	1,8	0,16	-0,31
9	100	32,0	149	31,3	31	27	48,90	7,02	10	48	22	1,8	-0,33	0,18
Сбег ствола в коре (d _п -d _{1,3})														
1	28	12,4	176	2,5	2	1	2,26	1,51	1	11	61	4,6	1,78	6,02
2	38	10,3	228	2,0	2	2	1,25	1,12	0	6	55	3,7	0,66	0,38
3	70	24,8	169	4,8	4	4	5,94	2,44	1	14	50	3,9	0,82	1,14
4	75	25,2	243	5,4	5	4	7,12	2,67	2	15	49	3,2	0,53	0,43
5	85	26,0	235	4,4	4	5	4,97	2,23	0	12	51	3,3	0,54	0,33
6	97	32,5	108	5,2	5	4	8,23	2,88	0	14	55	5,4	0,26	-0,15
7	100	30,6	177	5,9	5	3	13,77	3,72	0	25	63	4,8	1,80	5,62
8	100	29,0	141	4,6	5	5	4,97	2,24	0	13	48	4,1	0,55	1,05
9	100	32,0	149	5,9	6	5	9,88	3,15	0	20	53	4,3	1,22	3,13

Примечания. А – возраст древостоя ПП, лет; D – средний диаметр древостоя ПП, см; n – объем выборки, шт.; X – среднее арифметическое значение, см; Me – медиана, см; Mo – мода, см; S² – дисперсия, см²; S – стандартное отклонение, см; X_{мин} – минимальное значение, см; X_{макс} – максимальное значение, см; Cv – коэффициент вариации, %; Cs – точность опыта, %; As – коэффициент асимметрии; Ex – коэффициент эксцесса

Максимальные величины абсолютного сбегая деревьев липы наблюдались в 95–100-летних древостоях. Изменчивость сбегая варьирует значительно (48–63 %), причем точность опыта во всех возрастных группах не превысила 5,4 %.

Полученные показатели подтверждают достоверность полевых наблюдений и дают право на их основе выявлять зависимости и закономерности изменения диаметров на высоте 1,3 м и пня.

На основании первичных данных для всех пробных площадей с целью перехода от диаметра на высоте пня к диаметру на высоте 1,3 м был выполнен расчёт простых линейных уравнений (без свободного коэффициента). Показатели моделей представлены в таблице 3.

Все модели характеризовались достаточно высокими коэффициентами детерминации ($R^2 > 0,79$). Коэффициент b находится в диапазоне 0,8167–0,8606 и значим для всех уравнений ($p < 0,01$). Достоверности уравнений, оцениваемые по критерию Фишера, значительно превышают критические значения ($F_{\phi} > F_{\text{таб}}$). Величина стандартной ошибки находится в диапазоне 0,9–2,9 см, относительная – 0,07–0,10. Систематическая ошибка изменяется от –1,5 % до 0,6 %, а случайная ошибка не превышает 10 %. Все это свидетельствует о высокой адекватности полученных моделей.

Близкие значения коэффициентов b и графический анализ показали единообразие в форме линий по пробным площадям – они сливаются в одну линию, несмотря на различие в разрядах высот. По всей видимости, различия разрядов высот не так значимы, поскольку все рассматриваемые пробные площади расположены в соседних кварталах Дмитриевского участкового лесничества. Плотное корреляционное поле и визуально четко просматриваемая форма связи дали основание объединить данные по возрастным классам, двум разрядам высот, а также в единую выборочную совокупность. Для которых

также были составлены линейные модели и рассчитаны их статистические показатели (табл. 3).

Результаты сравнения моделей по возрастным классам по F-тесту приведены в таблице 4.

Парное сравнение моделей по возрастным классам и в целом показало, что между ними существует статистическая разница на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($F_{\phi} > F_{\text{таб}} = 3,9$), кроме древостоев VIII (ПП3 и ПП4) и X (ПП6 и ПП8), а также IX–X (ПП5, ПП6 и ПП8) классов возраста.

Поскольку соотношение $d_{1,3} - d_{\text{п}}$ большей частью зависит от формы ствола в комлевой части, а не от всей формы ствола и возраста, несмотря на различия уравнений по классам возраста, мы воспользовались обобщенной моделью.

Правомерность объединения данных подтверждается незначительными ошибками сравниваемых моделей, а также аналитически – путем расчета среднеквадратического отклонения рядов [7]: степень различия между рядами незначительна и не превышает 5,5 %. Кроме того, достоверность обобщенного уравнения была проверена с помощью t-критерия парных выборок с использованием независимого набора данных, полученных из контрольной ПП9. Оцененные значения $d_{1,3}$, рассчитанные по разработанному уравнению, и значения $d_{1,3}$, наблюдаемые на деревьях контроля, не выявили статистически существенной разницы ($t < 1,98$). Это дает основание использовать для обоих разрядов высот одну обобщенную модель.

Полученная обобщенная модель была протабулирована (табл. 5). Оценка меры различия таблиц была выполнена путем сравнения с данными «Лесотаксационного справочника для лесов Урала» [10]. Эти нормативы были разработаны под руководством профессора П.М. Верхунова и являются единственным нормативным документом по переводу $d_{1,3}$ от $d_{\text{п}}$ липы мелколистной.

Таблица 3

Статистические показатели модели связей $d_{1,3} = b \cdot d_n$

Номер ПП/кл. возраста	n, шт.	b	R ²	Ошибки уравнений для ПП, выборки по разряду высот и объединенной выборки															
				S _e				S _o				Q _p				Q _s			
				ПП	раз. в.	всего	ПП	раз. в.	всего	ПП	раз. в.	всего	ПП	раз. в.	всего	ПП	раз. в.	всего	ПП
1/III	176	0,8223	0,932	1,1	1,1	1,1	0,09	0,08	0,08	-0,8	0,9	1,1	8,4	8,3	8,3	3,7	3,7	4,0	
2/IV	228	0,8254	0,949	0,9	0,9	0,9	0,10	0,10	0,10	0,6	2,3	2,0	9,6	9,4	9,4	3,7	3,7	3,2	
3/VIII	169	0,8290	0,902	1,9	1,9	1,9	0,08	0,08	0,08	-0,9	0,1	0,2	7,5	7,5	7,5	1,9	1,9	2,2	
4/VIII	243	0,8167	0,789	2,2	2,3	2,3	0,09	0,09	0,09	-0,9	1,5	1,6	9,0	8,8	8,8	5,2	5,2	5,5	
3+4/VIII	412	0,8216	0,847	2,1	2,1	2,1	0,09	0,08	0,08	-0,9	0,9	1,0	13,3	13,0	13,0	3,9	3,9	4,2	
5/IX	235	0,8501	0,871	1,9	1,9	1,9	0,07	0,08	0,08	-0,6	-2,2	-2,1	7,3	7,4	7,4	3,3	3,3	3,1	
6/X	108	0,8579	0,851	2,6	2,7	2,7	0,08	0,09	0,09	-0,4	-3,0	-2,8	8,2	8,4	8,4	5,1	5,1	4,9	
7/X	177	0,8277	0,864	2,8	2,9	2,8	0,09	0,08	0,08	-1,5	-0,1	-0,3	8,5	8,4	8,4	2,3	2,3	2,6	
8/X	141	0,8606	0,881	2,1	2,2	2,3	0,07	0,08	0,08	0,3	-2,3	-2,5	7,3	7,5	7,5	5,0	5,0	5,5	
6+7+8/X	426	0,8456	0,863	2,6	-	2,6	0,08	-	0,08	-0,7	-	-1,7	14,6	-	14,8	-	2,0	-	
9/X	149	0,8405	0,825	2,9	2,9	2,9	0,09	0,09	0,09	-0,1	-0,1	-0,4	9,2	9,2	9,2	0,2	0,2	0,7	
1 раз. в.	546	0,8397	0,967	-	2,1	-	-	0,09	-	-	0,3	-	-	8,8	-	-	-	-	
2 раз. в.	931	0,8365	0,936	-	2,0	-	-	0,08	-	-	-0,3	-	-	8,3	-	-	-	-	
Всего	1477	0,8376	0,954	-	-	2,030	-	-	0,09	-	-0,1	-	-	8,5	-	-	-	-	

Примечания. b – значение коэффициента линейного уравнения; R² – коэффициент детерминации; ошибки уравнений: S_e – стандартная, см; S_o – относительная; Q_p – систематическая, %; σ – случайная, %; σ – среднеквадратическое отклонение сравниваемых рядов, %; раз. в. – разряд высот

Таблица 4

Результаты F-теста, которые определяют различия в возрастных классах, описывающие зависимость $d_{1,3} = f(d_n)$

Номер ПП	Класс возраста	n	Сокращенная модель		Полная модель		F _φ
			SSE _R	df _R	SSE _F	df _F	
3+4	VIII	412	1782	411	1768	410	3,17
6+7	X	285	2234	284	2149	283	11,2
6+8	X	249	1368	248	1368	247	0,1
7+8	X	318	2169	317	2066	316	15,9
(6+8)+7	X	426	2927	425	2791	424	20,6
1+2	III+IV	304	377	303	377	302	0,1
1+(3+4)	III+(VIII)	588	1988	587	1974	586	4,1
1+5	III+IX	411	1046	410	1020	409	10,3
1+(6+8)	III+(X)	425	1622	424	1574	423	12,9
2+(3+4)	IV+(VIII)	640	1954	639	1939	638	4,8
2+5	IV+IX	463	1004	462	986	461	8,5
2+(6+8)	IV+(X)	477	1575	476	1539	475	11,2
(3+4)+5	(VIII)+IX	647	2709	646	2583	645	31,4
(3+4)+(6+8)	(VIII)+(X)	661	3394	660	3136	659	54,3
5+(6+8)	IX+(X)	484	2194	483	2183	482	2,5
Всего		1477	6081	1476	5754	1472	20,9

Таблица 5

Диаметры стволов липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) на высоте 1,3 м в зависимости от диаметров на высоте пня

Диаметр на высоте пня, см	Диаметр на высоте 1,3 м, см		Разница	
	По данным исследования	По существующим нормативам [10]	см	%
8	6,7	7,0	-0,3	4,5
10	8,4	8,6	-0,2	2,7
12	10,1	10,3	-0,2	2,5
14	11,7	12,1	-0,4	3,2
16	13,4	13,7	-0,3	2,2
18	15,1	15,4	-0,3	2,1
20	16,8	17,1	-0,3	2,1
22	18,4	18,8	-0,4	2,0
24	20,1	20,4	-0,3	1,5
26	21,8	22,2	-0,4	1,9
28	23,5	23,8	-0,3	1,5
30	25,1	25,6	-0,5	1,9
32	26,8	27,3	-0,5	1,9

Диаметр на высоте пня, см	Диаметр на высоте 1,3 м, см		Разница	
	По данным исследования	По существующим нормативам [10]	см	%
34	28,5	29,0	-0,5	1,8
36	30,2	30,7	-0,5	1,8
38	31,8	32,3	-0,5	1,5
40	33,5	34,1	-0,6	1,8
42	35,2	35,8	-0,6	1,8
44	36,9	37,4	-0,5	1,5
46	38,5	39,2	-0,7	1,7
48	40,2	40,9	-0,7	1,7
50	41,9	42,5	-0,6	1,5
52	43,6	44,1	-0,5	1,3
54	45,2	45,9	-0,7	1,5
56	46,9	47,7	-0,8	1,7
58	48,6	-	-	-
60	50,3	-	-	-

Как видно из приведенных данных, нормативные показатели для всего ряда дают завышенные результаты. Максимальные различия наблюдаются в группе тонкомерных стволов, но они не превышают 4,5 %, оставаясь при этом идентичными ступенями толщины для всего ряда.

Выводы

Результаты исследований можно резюмировать следующим образом.

Насаждения липы мелколистной исследованного района характеризуются однородностью по условиям местопроизрастания, составу насаждений, деревья имеют порослевого происхождения.

Разница в соотношении между диаметрами на высоте пня и на высоте 1,3 м находится в среднем диапазоне от 2,0 до 5,9 см и составляет 16 %. Анализ линейных моделей аппроксимирующей зависимостью $d_{1,3} = b d_n$ указывает на их высокую адекватность. При их оценке между возрастными классами выявлено

наличие статистически значимой разницы по F-критерию. Несмотря на это, обобщенное уравнение $d_{1,3} = 0,8376 \cdot d_n$ объясняет изменчивость диаметра на высоте 1,3 м от диаметра пня на 95,4 %. Величины ошибок для объединенного материала варьируют в допустимых пределах и указывают на сходный характер изменений диаметров на высоте 1,3 м для I и II разряда высот. Это свидетельствует об отсутствии необходимости использования сложных моделей.

Верификация полученных данных с нормативными показателями [10], несмотря на небольшое завышение последних, указывает на возможность их применения в местных условиях. Однако, учитывая принадлежность заложенных пробных площадей только к первому и второму разряду высот, остается открытым вопрос их применимости при других разрядах, для древостоев семенного происхождения и деревьев свободного роста, например, в городских условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллаева, Н.А. К вопросу исследования закономерностей перехода от диаметра пня дерева к диаметру на высоте груди / Н.А. Абдуллаева, И.Х. Хайров // Материалы I Национальной конференции по итогам научной и производственной работы преподавателей и студентов в области ландшафтной архитектуры и лесного дела, 22–26 апреля 2019 г. – Саратов: Амирит, 2019. – С. 3–7.
2. Вайс, А.А. Упрощенный метод определения диаметров нижней части деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири / А.А. Вайс // Вестник ПГТУ. – 2012. – № 2. – С. 31–35.
3. Вайс, А.А. Нормативы для восстановления осиновых насаждений (*Populus tremula*) в условиях Средней Сибири / А. А. Вайс // Вестник БГАУ. – 2013. – № 4. – С. 109–111.
4. Вайс, А.А. Упрощенный метод определения диаметров нижней части деревьев берёзы повислой (*Betula pendula* L.) в условиях Средней Сибири / А.А. Вайс // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (42). – С. 28–31.
5. Вайс, А.А. Методические подходы к изучению соотношения диаметров деревьев на высоте 1,3 метра и на высоте пня / А.А. Вайс, И.А. Воробьева // Лесная таксация и лесоустройство. – 2015. – № 1 (52). – С. 16–19.
6. Верхунов, П.М. Таксация леса / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2007. – 396 с.
7. Загреев, В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В.В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 240 с.
8. Кишенков, Ф.В. Исследование сбежистости комлевой части стволов ели / Ф.В. Кишенков, А.А. Соломников, А.А. Касацкий // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2007. – Вып. 19. – С. 37–42.
9. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
10. Лесотаксационный справочник для лесов Урала (нормативные материалы для Пермской, Челябинской, Свердловской, Курганской областей и Башкирской АССР). – М.: ВНИИЦлесресурс, 1991, ч. 1 и ч. 2. – 484 с.
11. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР: (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР) / сост.: Г.С. Войнов, Е.Г. Тюрин, И.И. Гусев. – Архангельск: Изд-во Арханг. ин-та леса и лесохимии, 1986. – 357 с.
12. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / А.Г. Мошкалев, Г.М. Давидов, Л.Н. Яновский, В.С. Моисеев, Д.П. Столяров, Ю.И. Бурневский. – Л.: ЛТА, 1984. – 320 с.
13. Марухленко, Ю.В. Исследование зависимости диаметра на высоте груди (1,3 м) от диаметра пня / Ю.В. Марухленко, В.Н. Михальчук // Интерэкспо Гео-Сибирь: сборник материалов III международного конгресса / Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск, 2007. – Т. 2. – С. 239–244.
14. Нормативы для таксации лесов центрального и южного районов европейской части Российской Федерации. М., 1993. – 419 с.
15. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалев. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
16. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590/ (дата обращения: 20.03.2020).
17. Сомов, Е.В. К вопросу определения диаметра ствола на высоте 1,3 м по диаметру пня при расчете ущерба от нелегальной рубки деревьев сосны обыкновенной на территории г. Хабаровска / Е.В. Сомов, Н.В. Выводцев, Е.В. Авдеева, А.А. Савчук // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – № 22. – С. 177–179.

18. Справочник таксатора: Таблицы для таксации леса / Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Г.Г. Самойлович; Под ред. проф. Н.В. Третьякова. – М.–Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 854 с.
19. Указания по освидетельствованию мест рубок, подсочки (осмолоподсочки) насаждений и заготовки второстепенных лесных материалов. Утв. пр. Госкомитета СССР по лесн. хоз-ву от 01.11.1983 № 130. М., 1984. – 37 с.
20. Усс, Е.А. К вопросу определения запасов вырубленной древесины на лесосеке по пням / Е.А. Усс // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – № 31. – С. 68–72.
21. Anta, M. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia / M. Anta, U. Diéguez-Aranda, F. Castedo-Dorado, M. Murias // Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales. – 2003. – Vol. 12. – № 2. – P. 131–139.
22. Corral-Rivas, J.J. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico) / J.J. Corral-Rivas, M. Barrio-Anta, O.A. Aguirre-Calderón, U. Diéguez-Aranda // Forestry: An International Journal of Forest Research. – 2007. – V. 80. – № 1. – P. 29–40.
23. Bates, D.M. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications / D.M. Bates, D.G. Watts. Wiley, New York, 1988. – 365 p.
24. Milios, E. Diameter at breast height from stumps estimated in *Quercus frainetto* in the region of Evros in northeastern Greece / E. Milios, K.G. Kitikidou, V. Dalakouras, E. Pipinis // CERNE, Lavras. – 2016. – V. 22. – № 3. – P. 337–344.
25. Özdemir, E. Kuzey Marmara Yöresi sapsız meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) meşcereleri için kütük çapı – göğüs çapı ilişkisinin belirlenmesi / E. Özdemir, A. Şahin, G. Aylak // Turkish Journal of Forestry. – 2020. – V. 21 (1). – P. 25–34.
26. Neter, J. Applied Linear Statistical Models / J. Neter, M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim, W. Wasserman. 4th ed., McGraw-Hill/Irwin, Boston, 1996. – 1408 p.
27. Pond, N.C. Evaluating published approaches for modelling diameter at breast height from stump dimensions / N.C. Pond, R.E. Froese // Forestry: An International Journal of Forest Research. – 2014. – V. 87. – № 5. – P. 683–696.
28. Sakıcı, O.E. Stump Diameter and Diameter at Breast Height Relationships for Oriental Beech and Kazdağı Fir at Mixed Stands in Karabük / O.E. Sakıcı, G. Ozdemir // Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 2017. – P. 298–306.
29. Tablice służące do określania pierśnicy i miąższości drzewa na podstawie średnicy pniaka / Arkadiusz Bruchwald. – Warszawa: Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk, 2001. – 64 s.
30. Yavuz, H. Dişbudak ağaç türü için dip kütük çapı ile göğüs çapı arasındaki ilişkinin belirlenmesi / H. Yavuz // K.T.Ü Orman Fakültesi Güz Yarı Yılı Seminerleri, Seminer 2000. – № 7. – 10 p.

REFERENCES

1. Abdullaeva N.A., Khairov I.Kh. K voprosu issledovaniya zakonomernostei perekhoda ot diametra pnya dereva k diametru na vysote grudi. *Materialy I Natsional'noi konferentsii po itogam nauchnoi i proizvodstvennoi raboty prepodavatelei i studentov v oblasti landshaftnoi arkhitektury i lesnogo dela, 22–26 aprelya 2019 g.* Saratov, 2019, pp. 3–7. (In Russian)
2. Vais A.A. Uproshchennyi metod opredeleniya diametrov nizhnei chasti derev'ev sosny obyknovЕННОI (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh Srednei Sibiri. *Vestnik PGTU*, 2012, no. 2, pp. 31–35. (In Russian)
3. Vais A.A. Normativy dlya vosstanovleniya osinovykh nasazhdenii (*Populus tremula*) v usloviyakh Srednei Sibiri. *Vestnik BGAU*, 2013, no. 4, pp. 109–111. (In Russian)

4. Vais A.A. Uproshchennyi metod opredeleniya diametrov nizhnei chasti derev'ev berezy povisloi (*Betula pendula* L.) v usloviyakh Srednei Sibiri. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 4 (42), pp. 28–31. (In Russian)
5. Vais A.A., Vorob'eva I.A. Metodicheskie podkhody k izucheniyu sootnosheniya diametrov derev'ev na vysote 1,3 metra i na vysote pnya. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo*. 2015, no. 1 (52), pp. 16–19. (In Russian)
6. Verkhunov P.M., Chernykh V.L. Taksatsiya lesa. Ioshkar-Ola, 2007, 396 p. (In Russian)
7. Zagreev V.V. Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev. Moscow, 1978, 240 p. (In Russian)
8. Kishenkov F.V., Solomnikov A.A., Kasatskii A.A. Issledovanie sbezhistosti komlevoi chasti stvolov eli. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2007, vol. 19, pp. 37–42. (In Russian)
9. Lakin G.F. Biometriya. Moscow, 1990, 352 p.
10. Lesotaksatsionnyi spravochnik dlya lesov Urala (normativnye materialy dlya Permskoi, Chelyabinskoi, Sverdlovskoi, Kurganskoi oblastei i Bashkirskoi ASSR). Moscow, 1991, vol. 1 i vol. 2, 484 p. (In Russian)
11. Lesotaksatsionnyi spravochnik dlya severo-vostoka evropeiskoi chasti SSSR: (normativnye materialy dlya Arkhangel'skoi, Vologodskoi oblastei i Komi ASSR). sost.: G.S. Voinov, E.G. Tyurin, I.I. Gusev. Arkhangel'sk, 1986, 357 p. (In Russian)
12. Lesotaksatsionnyi spravochnik po Severo-Zapadu SSSR. Moshkalev A.G., Davidov G.M., Yanovskii L.N., Moiseev V.S., Stolyarov D.P., Burnevskii Yu.I. Leningrad, 1984, 320 p. (In Russian)
13. Marukhlenko Yu.V., Mikhail'chuk V.N. Issledovanie zavisimosti diametra na vysote grudi (1,3 m) ot diametra pnya. *Interespo Geo-Sibir'. Proc. 3rd International Congress*. Novosibirsk, 2007, vol. 2, pp. 239–244. (In Russian)
14. Normativy dlya taksatsii lesov tsentral'nogo i yuzhnogo raionov evropeiskoi chasti Rossiiskoi Federatsii. Moscow, 1993, 419 p. (In Russian)
15. Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov. V.V. Zagreev, V.I. Sukhikh, A.Z. Shvidenko, N.N. Gusev, A.G. Moshkalev. Moscow, 1992, 495 p. (In Russian)
16. Prikaz Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii ot 18.08.2014 N 367 "Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiiskoi Federatsii i Perechnya lesnykh raionov Rossiiskoi Federatsii". http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590/ (data obrashcheniya: 20.03.2020). (In Russian)
17. Somov E.V., Vyvodtsev N.V., Avdeeva E.V., Savchuk A.A. K voprosu opredeleniya diametra stvola na vysote 1,3 m po diametru pnya pri raschete ushcherba ot nelegal'noi rubki derev'ev sosny obyknovЕННОI na territorii g. Khabarovska. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2009, no. 22, pp. 177–179. (In Russian)
18. Spravochnik taksatora: Tablitsy dlya taksatsii lesa. N.V. Tret'yakov, P.V. Gorskii, G.G. Samoilovich; Pod red. prof. N.V. Tret'yakova. Moscow, Leningrad, 1952, 854 p. (In Russian)
19. Ukazaniya po osvidetel'stvovaniyu mest rubok, podsochki (osmolopodsochki), nasazhdenii i zagotovki vtorostepennykh lesnykh materialov. Utv. pr. Goskomiteta SSSR po lesn. khoz-vu ot 01.11.1983 N 130. Moscow, 1984, 37 p. (In Russian)
20. Uss E.A. K voprosu opredeleniya zapasov vyrublennoi drevesiny na leseke po pnyam. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2012, no. 31, pp. 68–72. (In Russian)
21. Anta M., Diéguez-Aranda U., Castedo-Dorado F., Murias M. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 2003, vol. 12, no. 2, pp. 131–139.

22. Corral-Rivas J.J., Barrio-Anta M., Aguirre-Calderón O.A., Diéguez-Aranda U. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2007, vol. 80, no. 1, pp. 29–40.
23. Bates D.M., Watts D.G. *Nonlinear Regression Analysis and Its Applications*. Wiley, New York, 1988, 365 p.
24. Milios E., Kitikidou K.G., Dalakouras V., Pipinis E. Diameter at breast height from stumps estimated in *Quercus frainetto* in the region of Evros in northeastern Greece. *CERNE, Lavras*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 337–344.
25. Özdemir E., Şahin A., Aylak G. Kuzey Marmara Yöresi sapsız meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) meşcereleri için kütük çapı – göğüs çapı ilişkisinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 2020, vol. 21 (1), pp. 25–34.
26. Neter J., Kutner M.H., Nachtsheim C.J., Wasserman W. *Applied Linear Statistical Models*. 4th ed., McGraw-Hill/Irwin, Boston, 1996, 1408 p.
27. Pond N.C., Froese R.E. Evaluating published approaches for modelling diameter at breast height from stump dimensions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol. 87, no. 5, 2014, pp. 683–696.
28. Sakıcı O.E., Ozdemir G. Stump Diameter and Diameter at Breast Height Relationships for Oriental Beech and Kazdağı Fir at Mixed Stands in Karabük. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 2017, pp. 298–306.
29. Tablice służące do określenia pierśnicy i miąższości drzewa na podstawie średnicy pniaka. Arkadiusz Bruchwald. Warszawa, 2001, 64 p.
30. Yavuz H. Dişbudak ağaç türü için dip kütük çapı ile göğüs çapı arasındaki ilişkinin belirlenmesi. K.T.Ü Orman Fakültesi Güz Yarı Yılı Seminerleri, Seminer 2000, no. 7, 10 p.

Статья поступила в редакцию 6.05.2020