



DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.59
УДК 630*53

Определение индивидуальных таксационных параметров размещения деревьев по материалам координатных пробных площадей в лесах Дальнего Востока

© В.С. Грек, Ю.А. Волкова

Determination of individual taxation parameters of tree allocation based on materials of coordinate trial plots in the forests of the Far East

V.S. Grek, Yu.A. Volkova (Far East Research Institute for Forestry)

The need to improve taxation standards for the inventory of plantations and the design of economic measures in the complex forests of the Far East is due to the absence of tables for estimating the podorevnyy accounting density, completeness and stock. The purpose of the present studies is to improve the development of taxation tables using tree placement parameters based on materials from permanent trial plots, including circular trial plots based on the state forest inventory. The individual taxation parameters of tree allocation were studied using data on permanent trial plots. Based on the coordinates of the bases of tree trunks, using the Voronoi diagram, point models of plantations were constructed. The division of the area of the point model of plantation into polygons (cells), see page 3, made it possible to calculate the area of the cell, the average distance and the number of neighbors in a cell for individual instances of each tree. According to the parameters of location and taxation indicators of trees, individual characteristics of the density, completeness and stock of each tree on the trial plot were obtained. The regression analysis is performed and analytical models of interrelation of individual parameters of location of growing individual trees with taxation characteristics of the plantation are constructed. Essentially new tables have been developed to assess individual density, completeness and stock. in complex stands of stands. Based on the results of the research, statistically significant relationships were established between the following features:

the dependence of the polygon cell area (polygon) on the average distance between trees in the cell; the dependence of individual completeness on the diameter of the trunk and the average distance between the trees in the cell; the dependence of the individual stock on the diameter of the trunk, the height of the tree and the average distance between the trees in the cell. The possibilities of using the materials of trial plots of the state forest inventory for improving the taxation tables are shown.

Key words: inventory, planting, Voronoi's polygons, correlation, patterns of structure, equation, table

Определение индивидуальных таксационных параметров размещения деревьев по материалам координатных пробных площадей в лесах Дальнего Востока

В.С. Грек, Ю.А. Волкова

Необходимость совершенствования таксационных нормативов для инвентаризации насаждений и проектирования хозяйственных мероприятий в сложных лесах Дальнего Востока обусловлена отсутствием таблиц оценки подеревного учета густоты, полноты и запаса. Целью настоящих исследований является составление таксационных таблиц с использованием параметров размещения деревьев по материалам постоянных пробных площадей, в том числе круговых пробных площадей государственной инвентаризации лесов. В работе изучены индивидуальные таксационные параметры размещения деревьев на постоянных пробных площадях. По координатам оснований стволов деревьев с помощью диаграммы Вороного построены точечные модели насаждений. Разбиение точечной модели насаждения на полигоны (ячейки) позволило рассчитать для каждого дерева площадь ячейки, среднее расстояние и число соседей в ячейке. По данным параметров размещения и таксационным показателям деревьев получены индивидуальные характеристики густоты, полноты и запаса каждого дерева на пробной площади. Выполнен регрессионный анализ и построены аналитические модели взаимосвязи индивидуальных параметров размещения отдельных деревьев с таксационными характеристиками насаждения. Разработаны принципиально новые таблицы для оценки индивидуальной густоты, полноты и запаса. По результатам исследований установлены статистически значимые взаимосвязи между следующими признаками: зависимость площади ячейки от среднего расстояния между деревьями в ячейке; зависимость индивидуальной полноты от диаметра ствола и среднего расстояния между деревьями в ячейке; зависимость индивидуального запаса от диаметра ствола, высоты дерева и среднего расстояния между деревьями в ячейке. Показаны возможности использования материалов пробных площадей государственной инвентаризации лесов для совершенствования таксационных таблиц.

Ключевые слова: инвентаризация, насаждение, полигоны Вороного, корреляция, закономерности строения, уравнение, таблица

Грек Виктор Степанович – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела экономики инвентаризации и воспроизводства лесов

E-mail: greckviktor@yandex.ru

Волкова Юлия Алексеевна – младший научный сотрудник отдела экономики инвентаризации и воспроизводства лесов

ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

680020, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, 71

Телефон: +7 (421) 221–67–98

E-mail: dvniilh@gmail.ru

Введение

Проблемы инвентаризации лесов и проектирования лесохозяйственных мероприятий в насаждениях связаны с определением индивидуальных значений показателей густоты, площади роста, полноты и древесного запаса. Решение этих задач заключается в исследовании взаимосвязей параметров размещения с таксационными показателями. Обоснование мероприятий должно опираться на количественные критерии, которые в настоящее время отсутствуют. Исходными данными для определения индивидуальных таксационных показателей служат материалы координатных пробных площадей, в том числе круговых пробных площадей государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), которые накапливаются в большом количестве при лесоустройстве, но не достаточно полно используются.

Ранее с учетом средних параметров размещения деревьев разрабатывались и предлагались модели, направленные на улучшение показателей продуктивности, роста и развития насаждений, на рационализацию их использования [7]. Современные исследования в области совершенствования методов учета лесных ресурсов затрагивают как изучение морфологических особенностей растущих деревьев [3], так и вопросы взаимосвязей параметров размещения с таксационными характеристиками [5]. Сотрудниками Мадридского технического института разработано программное обеспечение Vorest, моделирующее процесс роста деревьев и имитирующее эволюцию лесов, основываясь на элементарных структурных показателях насаждения [8].

Целью настоящих исследований является совершенствование таксационных нормативов с использованием параметров размещения деревьев в сложных насаждениях Дальнего Востока по данным координатных пробных площадей, в том числе материалов ГИЛ для проектирования хозяйственных мероприятий.

Задачами исследований являются: изучение закономерностей строения сложных насаждений на координатных пробных площадях, получение статистических взаимосвязей параметров размещения деревьев с основными таксационными характеристиками насаждений, построение математических моделей, позволяющих по измеряемым показателям размещения вычислять основные таксационные характеристики в насаждении, совершенствование методики инвентаризации лесов для проектирования хозяйственных мероприятий.

Объекты и методика исследований

Объектом исследований являются сложные по составу и строению спелые и разновозрастные темнохвойные и хвойно-широколиственные леса Дальневосточного таежного и Приамурско-Приморского хвойно-широколиственного лесных районов. В работе для расчетов использованы материалы постоянной пробной площади № 13–1986 в елово-пихтовом насаждении Хехцирского лесничества (Корфовское участковое лесничество, квартал 14), данные государственной инвентаризации лесов: паспорта пробных площадей ГИЛ Лазаревского и Уликанского лесничеств.

Согласно планам размещения деревьев на координатных пробных площадях по методу распределения Дирихле-Вороного с использованием программы STATISTICA 10 построены диаграммы точечной модели насаждения с целью получения индивидуальных параметров размещения. План горизонтальной проекции размещения оснований стволов растущих деревьев на пробной площади разбивался на полигоны (ячейки) различной формы таким образом, что каждому дереву на пробе, согласно методическим подходам Г.Ф. Вороного [4], В.В. Лебединского [6], В.А. Вагина [2], А.Н. Борисова и других [1], соответствовала определенная область – дерево с примыкающей к нему частью междеревной среды (рис. 1).

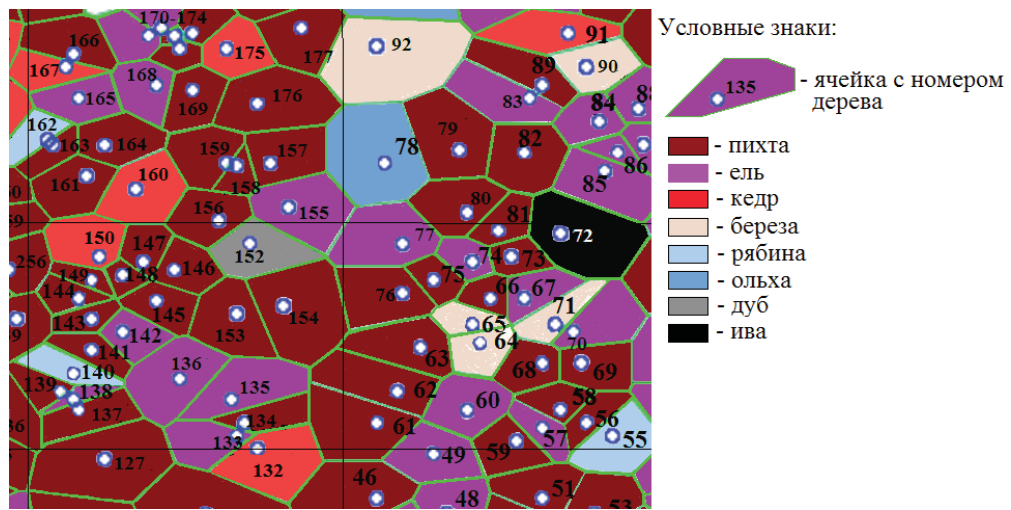


Рис. 1. Фрагмент диаграммы Вороного точечной модели елово-пихтового насаждения

Изучены возможности использования данных пробных площадей ГИЛ с целью получения параметров размещения и выявления взаимосвязей показателей размещения с индивидуальными таксационными характеристиками насаждения по материалам ГИЛ Лазаревского и Уликанского лесничеств. По координатам оснований стволов деревьев на примере пихтово-елового древостоя Лазаревского лесничества с помощью диаграммы Во-

роного построена точечная модель насаждения (рис. 2). Разбиение площади на полигоны позволило рассчитать площадь, среднее расстояние и число соседей в ячейке. По данным параметров размещения и таксационным характеристикам деревьев получены индивидуальные характеристики густоты, полноты и запаса каждого дерева на пробной площади (табл. 1).

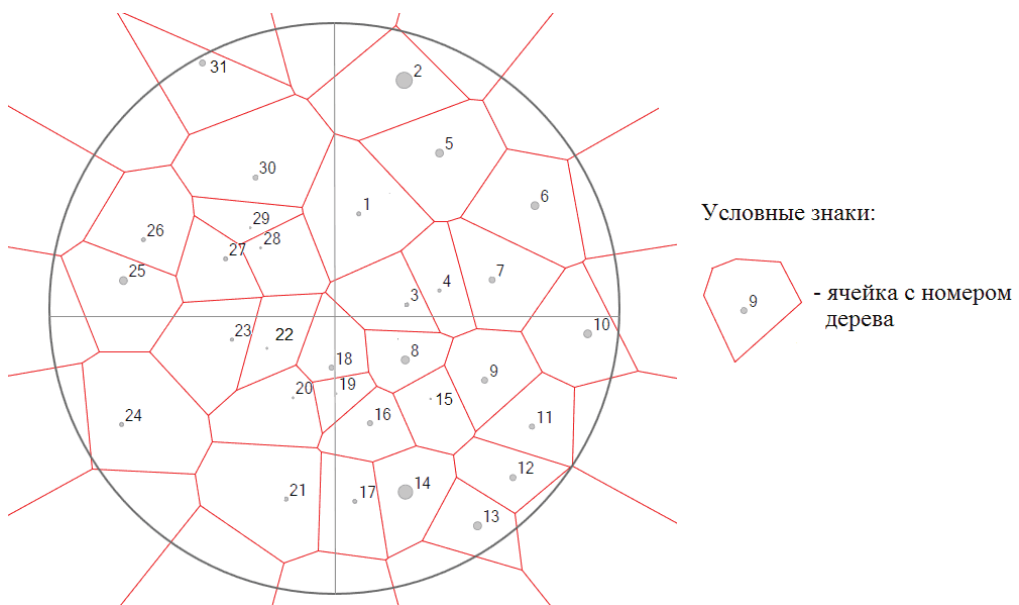


Рис. 2. Пробная площадь № 322217010 пихтово-елового насаждения Лазаревского лесничества из материалов ГИЛ

Таблица 1

Фрагмент расчета индивидуальных параметров размещения и таксационных показателей пихтово-елового насаждения на пробной площади № 322217010 Лазаревского лесничества по материалам ГИЛ

№ дерева	Порода	Диаметр, см	Высота, м	Площадь ячейки, м ²	Ср. расстояние, м	Число соседей, шт.	Объем ствола, м ³	Площадь сечения ствола, м ²	Полнота, м ² /га	Запас, м ³ /га	Густота, шт./га
1	Е	19,9	11,0	21,2	4,45	7	0,19	0,031	14,7	90	472
2	Л	67,8	26,8	18,1	4,86	5	5,24	0,361	199,6	2899	553
4	Е	19,2	16,3	9,4	3,70	6	0,26	0,029	30,6	275	1058
6	Е	35,6	13,5	16,7	4,47	6	0,77	0,099	59,6	461	599
7	Е	27,1	20,8	17,2	3,37	5	0,61	0,058	33,6	355	582
14	Л	60,7	25,8	11,3	3,69	6	4,32	0,289	255,8	3820	884
22	П	13,3	10,8	8,5	3,08	5	0,06	0,014	16,3	70	1174
23	П	17,2	9,0	14,1	4,81	5	0,11	0,023	16,4	78	708
26	Е	21,0	16,6	15,0	4,61	6	0,26	0,035	23,1	174	668
31	Е	30,6	21,0	16,2	4,31	4	0,84	0,074	45,5	520	619
Среднее		26,8	18,7	12,9	3,92	6	0,78	0,068	55,0	619	924

Результаты исследований

С помощью построенной модели для главной породы (пихта) на постоянной пробной площади № 13–1986 в елово-пихтовом насаждении Хехцирского лесничества (число наблюдений – 315) были определены индивидуальные параметры размещения для каждого дерева на пробе – площадь ячейки, число ближайших соседей, расстояние до каждого соседа. По данным измерительной таксации и индивидуальным параметрам размещения вычислялись таксационные характери-

стики насаждения на подеревном уровне: среднее расстояние в ячейке (м), индивидуальная полнота (м²/га) как отношение площади поперечного сечения ствола к площади ячейки, индивидуальный запас – отношение объема ствола к площади ячейки (м³/га), густота – обратная величина к площади ячейки (шт./га).

В программе STATISTICA 10 рассчитаны основные статистические показатели исследуемых параметров (табл. 2).

Таблица 2

Основные статистические показатели структурных параметров насаждения

Структурные параметры	N, штук	Среднее	Minimum	Maximum	Ст. откл.	Медиана	Мода	Экссесс	Ст. ошибка эксцесса
Запас, м ³ /га	315	191	25	875	128	159	241	4,4	0,27
Полнота м ² /га	315	27	2	95	14	23	20	1,9	0,27
Густота, шт./га	315	1708	523	7141	924	1470	1204	6,3	0,27
Высота, м	315	12	7	29	1,9	11,9	12	18,6	0,27
Диаметр, см	315	14	4	33	3,8	14,0	12	3,2	0,27
Ср. расстояние, м	315	2,9	1,1	5,0	0,7	2,9	3,1	-0,2	0,27
Площадь ячейки, м ²	315	7,4	1,4	19,1	3,4	6,8	8,3	0,8	0,27
Число соседей, шт.	315	6	4	10	1,1	6	6	0,2	0,27

По результатам сплошного перечета составлены группированные ряды распределения числа растущих деревьев по индивидуальным таксационным характеристикам и параметрам размещения (табл. 3).

Один из основных параметров размещения – среднее расстояние в ячейке. Выполнен

анализ коэффициентов корреляции между значением среднего расстояния в ячейке (r_{cp}) и первыми четырьмя расстояниями (r_1, r_2, r_3, r_4) до ближайших соседей (табл. 4). По наибольшему значению коэффициента корреляции показатель r_{cp} выражен как линейная функция от r_3 (рис. 3).

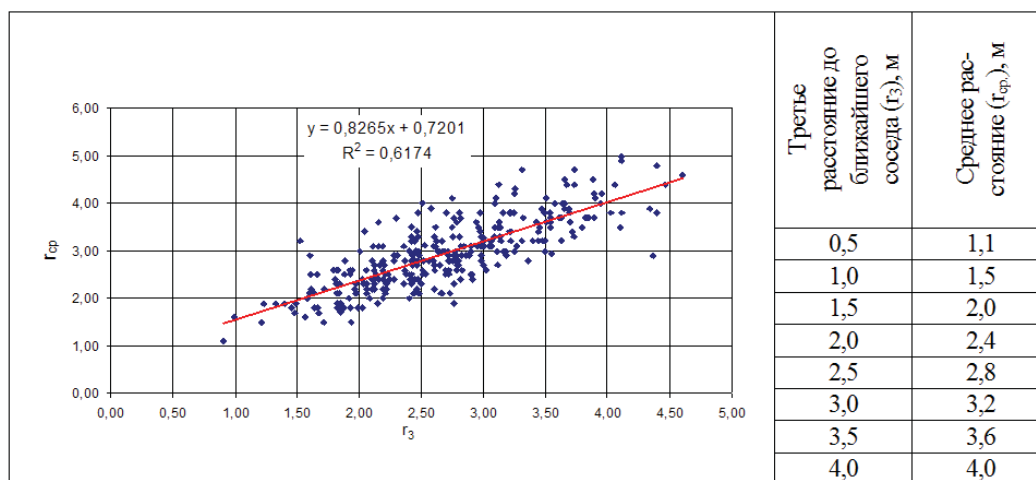


Рис. 3. График зависимости показателя среднего расстояния в ячейке от показателей третьего расстояния ближайшего соседства

Таблица 3

Ряды распределения числа наблюдений структурных показателей ПП13—1986

Площадь элементарных ячеек	Расстояние между деревьями		Число соседей		Подеревная полнота		Подеревной запас		Густота						
	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений	Число наблюдений					
$S_{\text{кв}}, \text{м}^2$	г, м	шт.	%	шт.	%	$P, \text{м}^2/\text{га}$	шт.	%	$M, \text{м}^3/\text{га}$	шт.	%	шт.	%		
2	25	8	1	4	25	8	4	8	2,5	40	21	7	200	1	0,3
4	70	22	2	99	32	5	8	12	3,8	80	60	19	600	31	10
6	69	22	3	146	46	6	12	44	14	120	60	19	1000	71	22
8	69	22	4	59	19	7	16	33	11	160	57	18	1400	79	25
10	40	13	5	7	2	8	20	52	17	200	20	6,5	1800	47	15
12	20	6,5				9	24	37	11	240	34	11	2200	41	13
14	9	3				4	28	30	10	280	17	5	2600	18	5,9
16	9	3				4	32	28	9	320	10	3	3000	5	2
18	3	0,4				9	36	17	5,5	360	13	4	3400	10	3
20	1	0,1				9	40	15	4,5	400	5	1,8	3800	8	2,5
						4	44	5	2	440	3	1	4200	3	1
						4	48	10	3	480	4	1,5	4600	1	0,3
						4	52	10	3	520	1	0,3			
						3	56	3	0,1	560	7	2			
						2	60	2	0,6	600	2	0,6			
						64 и >	64 и >	9	3	640 и >	1	0,3			
Σ	315	100	Σ	315	100	Σ	315	100	Σ	315	100	Σ	315	100	Σ

Таблица 4

Корреляционная взаимосвязь среднего расстояния в ячейке с показателями r_1, r_2, r_3, r_4

Показатели, м	r_1	r_2	r_3	r_4	Среднее расстояние
r_1	1,000	0,601	0,463	0,275	0,590
r_2	0,601	1,000	0,783	0,551	0,767
r_3	0,463	0,783	1,000	0,704	0,786
r_4	0,275	0,551	0,704	1,000	0,758
Среднее расстояние	0,590	0,767	0,786	0,758	1,000

Взаимосвязь между показателями площади ячейки для отдельного дерева и средним расстоянием в ячейке выражено полиномиальным уравнением 2-го порядка и показыва-

ет наличие положительной корреляционной зависимости между двумя показателями (рис. 4).

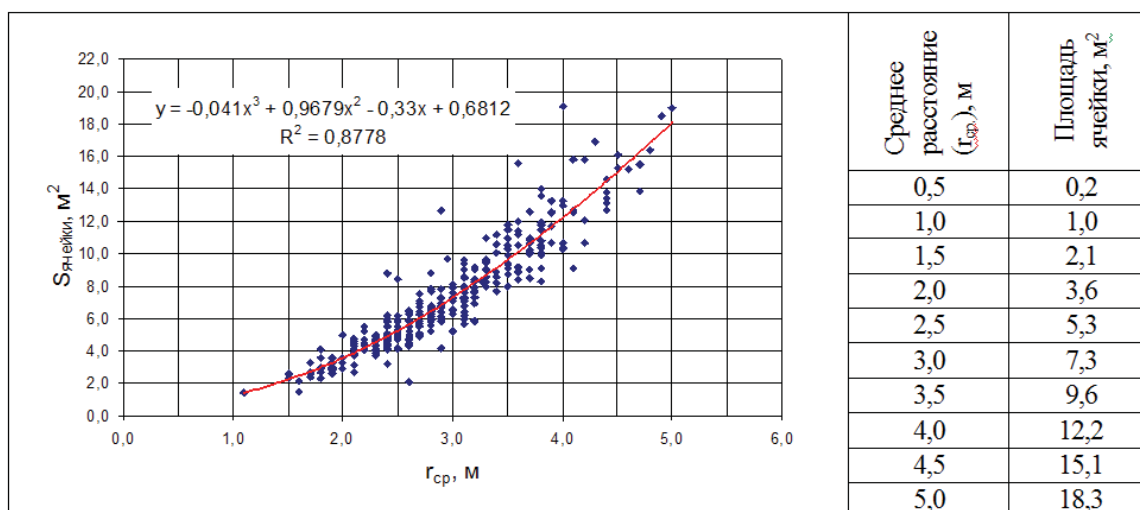


Рис. 4. График зависимости показателя площади ячейки от показателей среднего расстояния в ячейке

Для установления характера связи и определения совокупного влияния параметров размещения (площади ячейки, среднего расстояния в ячейке) на таксационные характеристики (запас, полнота) и установления ха-

рактера связи между этими показателями проведен анализ множественной регрессии, парных корреляционных отношений (табл. 5, 6, 7) и рассчитан коэффициент эластичности для запаса и полноты.

Таблица 5

Результаты построения регрессионных моделей для зависимой переменной – показателя запаса

Статистические показатели	Структурные параметры				
	Запас, м ³ /га	Диаметр, см	Высота, м	Ср. расстояние, м	Площадь ячейки, м ²
Модель № 1					
Свободный член и коэффициенты регрессии	39,3	22,52	7,64	-88,74	-
Статистическая ошибка	33,4	1,8	3,6	6,5	-
<i>t</i> -критерий Стьюдента	1,18	12,66	2,28	-13,61	-
Уровень значимости	0,24	0,01	0,01	0,01	-
Коэффициент множественной корреляции	0,79				
Коэффициент множественной детерминации	0,62				
Статистическая ошибка оценки	79,5				
Критерий Фишера	168				
Модель № 2					
Свободный член и коэффициенты регрессии	-30,76	23,29	7,45	-38,61	-11,68
Статистическая ошибка	39,1	1,8	3,3	16,4	3,5
<i>t</i> -критерий Стьюдента	-0,78	13,18	2,26	-2,35	-3,32
Уровень значимости	0,43	0,01	0,01	0,01	0,01
Коэффициент множественной корреляции	0,80				
Коэффициент множественной детерминации	0,63				
Статистическая ошибка оценки	78,3				
Критерий Фишера	133				

Предложены две модели регрессионного анализа. Модель № 1 включает в анализ три независимые переменные: диаметр, высота, среднее расстояние в ячейке, модель № 2 – четыре: высота, диаметр, среднее расстояние в ячейке, площадь ячейки. Согласно полученным данным, обе модели достоверны, точны, адекватны и позволяют получить линейные уравнения множественной регрессии для

определения величины показателя запаса (1,3). Процесс вычисления значения показателя среднего расстояния в ячейке на практике прост и удобен, в сравнении с нахождением показателя площади ячейки. Как следствие, из двух равнозначных рабочих моделей для совершенствования таксационных нормативов выбрана более практичная модель № 1.

$$y = 39,30 + 22,52x_1 + 7,64x_2 - 88,74x_3, \quad (1)$$

где x_1 – диаметр, см; x_2 – высота, м; x_3 – среднее расстояние, м.

Оценка значимости и надежности коэффициентов уравнения проводилась с использованием t -критерия Стьюдента. Табличное значение критерия (t_p) при принятом нами уровне значимости $p = 0,05$ с числом степеней свободы $n = 312$ имеет показатель 1,96. Значение каждого из полученных параметров (t_n) сравнивалось с табличным ($t_n 12,66 > t_p$ для x_1 , $t_n 2,28 > t_p$ для x_2 , $t_n -13,61 > t_p$ для x_3). Таким образом, установлена статистическая значимость коэффициентов x_1, x_2, x_3 , коэффициент x_0 является статистически незначимым. Для коэффициентов x_1, x_2, x_3 вероятности случайных значений параметров регрессии меньше 5 %, для коэффициента x_0 , данная вероятность значительно возрастает и составляет 24 %.

$$Ex_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}}, \quad (2)$$

где \bar{x}_i – среднее значение факторного признака;
 \bar{y} – среднее значение результативного признака.

$Ex_1 = 0,063 \%$; $Ex_2 = 0,075 \%$; $Ex_3 = 0,015 \%$; $Ex_4 = 0,038 \%$. С увеличением высоты на 1 % показатели запаса увеличиваются на 0,063 % от среднего уровня, а также с увеличением диаметра на 1 % показатели запаса увеличива-

ются на 0,075 % от среднего. С увеличением площади ячейки и среднего расстояния на 1 % показатели запаса уменьшаются на 0,038 % и 0,015 % от среднего уровня соответственно.

Коэффициенты x_1, x_2, x_3 отражают зависимость между значением высоты, диаметра, среднего расстояния, площади ячейки и запаса (y). С увеличением значения показателей x_1, x_2 на единицу, показатель y увеличивается на 22,5 см и 7,6 м. Однако при увеличении показателя x_3 на единицу показатель y уменьшается на 88,7 м.

Для оценки степени влияния каждого признака на итоговый показатель запаса рассчитаны частные коэффициенты эластичности. Коэффициент эластичности отражает процентное изменение значения результативного признака при изменении факторного на 1 % и при постоянстве других факторов:

ются на 0,075 % от среднего. С увеличением площади ячейки и среднего расстояния на 1 % показатели запаса уменьшаются на 0,038 % и 0,015 % от среднего уровня соответственно.

Таблица 6

Матрица парных коэффициентов корреляции для зависимой переменной – запаса

Структурные параметры	Высота, м	Диаметр, см	Среднее расстояние, м	Запас, м ³ /га
Высота, м	1,000	0,716	0,098	0,547
Диаметр, см	0,716	1,000	0,293	0,605
Среднее расстояние, м	0,098	0,293	1,000	-0,297
Запас, м ³ /га	0,547	0,605	-0,297	1,000

Полученные парные корреляции отражают отрицательную корреляционную связь показателя запаса, как с площадью ячейки, так и со средним расстоянием. С показателями высоты и диаметра установлены положитель-

ные корреляционные отношения.

Аналогичный анализ проведен для регрессионной модели зависимой переменной – показателя полноты.

Таблица 7

Результаты построения регрессионной модели
для зависимой переменной – показателя полноты

Статистические показатели	Структурные параметры			
	Полнота, м ² /га	Диаметр, см	Ср. расстояние, м	Площадь ячейки, м ²
Модель № 1				
Свободный член и коэффициенты регрессии	26,52	2,93	-14,18	-
Статистическая ошибка	2,0	0,1	0,6	-
<i>t</i> -критерий Стьюдента	13,45	26,73	-24,8	-
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05	
Коэффициент множественной корреляции			0,88	
Коэффициент множественной детерминации			0,77	
Статистическая ошибка оценки			7,1	
Критерий Фишера			515	
Модель № 2				
Свободный член и коэффициенты регрессии	14,58	3,04	-5,8	-1,95
Статистическая ошибка	2,6	0,1	1,4	0,3
<i>t</i> -критерий Стьюдента	5,59	29,17	-4,16	-6,52
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05	0,05
Коэффициент множественной корреляции			0,89	
Коэффициент множественной детерминации			0,79	
Статистическая ошибка оценки			6,7	
Критерий Фишера			403	

За уравнение линейной множественной регрессии по аналогичным запасу критериям принята модель № 1:

$$y = 26,52 + 2,93 x_1 - 14,18 x_2 \quad (3),$$

где x_1 – диаметр, см; x_2 – среднее расстояние, м.

Статистическая значимость коэффициентов уравнения при принятом уровне значимости установлена ($t_{н} 26,7 > t_{г}$ для x_1 , $t_{н} -24,8 > t_{г}$ для x_2).

С увеличением значения показателей x_1 , на единицу, показатель y увеличивается на

2,9 см, а с увеличением показателей x_2 на единицу показатель y уменьшается на 14,2 м. Показатели коэффициента эластичности имеют значения: $Ex_1 = 0,54 \%$; $Ex_2 = 0,28 \%$; $Ex_3 = 0,11 \%$.

Матрица парных корреляционных связей подтверждает обратную связь полноты с индивидуальными параметрами размещения (табл. 8).

Таблица 8

Матрица парных коэффициентов корреляции для зависимой переменной – полноты

Структурные параметры	Диаметр, см	Среднее расстояние, м	Полнота, м ² /га
Диаметр, см	1,000	0,293	0,556
Среднее расстояние, м	0,293	1,000	-0,484
Полнота, м ² /га	0,556	-0,484	1,000

Для визуализации полученных данных построены 3D-графики, отражающие характер связи между исследуемыми параметрами (рис. 5, 6)

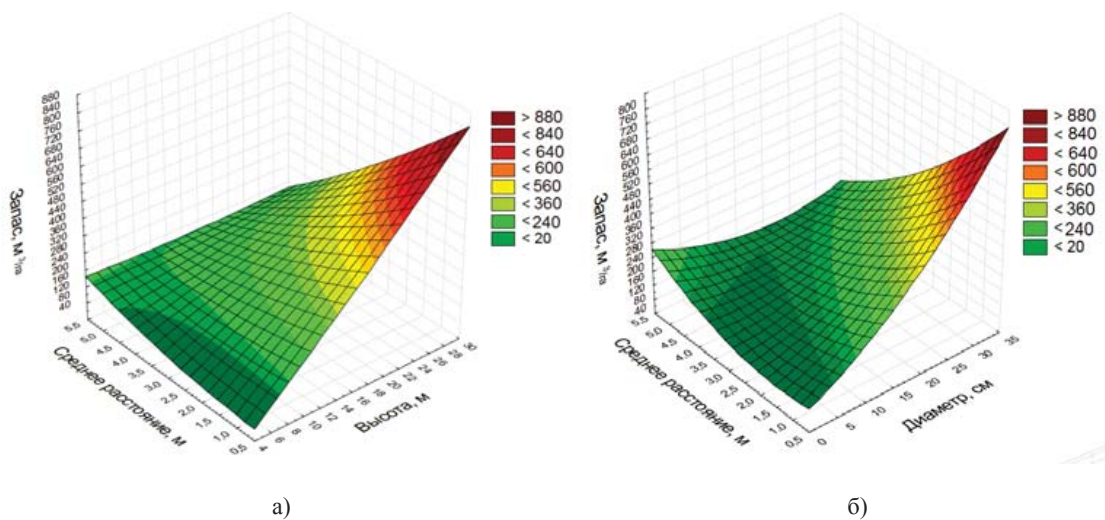


Рис. 5. Зависимость показателя запаса: а) от среднего расстояния и высоты, б) от среднего расстояния и диаметра

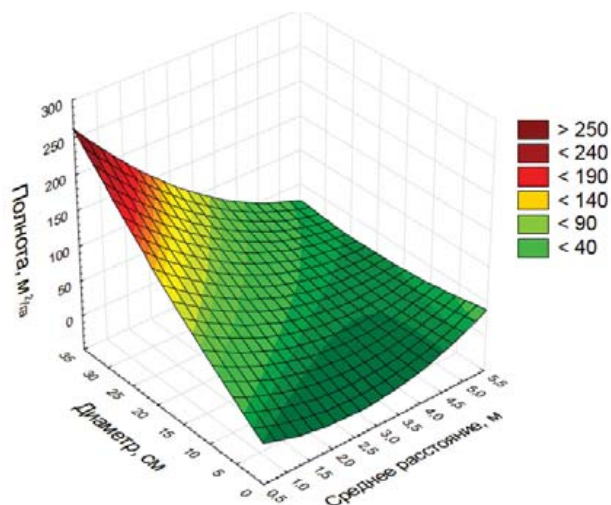


Рис. 6. Зависимость показателя полноты от показателей диаметра и среднего расстояния

Полученные аналитические уравнения (1, 3) позволяют совершенствовать таксационные таблицы для определения индивидуальных запаса и полноты на подеревном уровне растущего дерева (табл. 9, 10, 11).

Таблица 9

Индивидуальная полнота ($m^2/га$) в зависимости от среднего расстояния и диаметра дерева в ячейке

Диаметр, см	Среднее расстояние, м									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
4	31	24,5	16,9	9,8	2,8	-	-	-	-	-
8	42	35	28	21,5	14,5	7,4	0,3	-	-	-
12	54	47	40	33	26,2	19,1	12,0	4,9	-	-
16	66	59	52	45	37	30	23,7	16,6	9,6	2,5
20	77	70	63	56	49	42	35	28,4	21,3	14,2
24	89	82	75	68	61	54	47	40	32	25,9
28	101	94	87	80	73	65	58	51	44	37
32	113	106	98	91	84	77	70	63	56	49

Таблица 10

Индивидуальный запас ($m^3/га$) в зависимости от среднего расстояния и диаметра дерева в ячейке (при $h = 12$ м)

Диаметр, см	Среднее расстояние, м									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
4	176	132	88	44	-	-	-	-	-	-
8	266	222	178	134	89	45	1,2	-	-	-
12	357	313	268	224	179	135	91	46	2,4	-
16	447	403	358	314	269	225	181	136	92	48
20	537	493	448	404	360	315	271	226	182	138
24	627	583	538	494	450	405	361	317	272	228
28	717	673	628	584	540	495	451	407	362	318
32	1220	763	719	674	630	585	541	497	452	408

Таблица 11

Индивидуальный запас ($m^3/га$) в зависимости от среднего расстояния и высоты дерева в ячейке (при $d = 14$ см)

Высота, м	Среднее расстояние, м									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
2	325	281	237	192	148	104	59	15,3	-	-
4	341	296	252	208	163	119	75	30	-	-
6	356	312	267	223	179	134	90	45	1,4	-
8	371	327	283	238	194	149	105	61	16,7	-
10	387	342	298	254	209	165	120	76	32	-
12	402	358	313	269	224	180	136	91	47	3,2
14	417	373	328	284	240	195	151	107	62	18

Высота, м	Среднее расстояние, м									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
16	432	388	344	299	255	211	166	122	78	33
18	448	403	359	315	270	226	182	137	93	48
20	463	419	374	330	286	241	197	152	108	64
22	478	434	390	345	301	256	212	168	123	79
24	494	449	405	361	316	272	227	183	139	94

Подобные лесотаксационные таблицы могут разрабатываться также по данным пробных площадей из материалов государственной инвентаризации лесов.

Заключение

Исследования по совершенствованию таксационных таблиц для инвентаризации лесов Дальневосточного таежного и Приамурско-Приморского хвойно-широколиственного лесных районов выполнены с использованием материалов координатных пробных площадей в связи с необходимостью разработки недостающих нормативов подеревной оценки густоты, полноты и запаса насаждений. Объектом исследований явились спелые и разновозрастные темнохвойные и хвойно-широколиственные леса. Все расчеты выполнены на примере координатной пробной площади в елово-пихтовом насаждении Хехцирского лесничества. Подобные таблицы могут также разрабатываться с использованием данных круговых пробных площадей материалов ГИЛ.

Впервые получены индивидуальные параметры размещения деревьев с использованием материалов инвентаризационных пробных площадей ГИЛ в сложных лесах Дальнего Востока. По координатам оснований стволов деревьев с помощью диаграммы Вороного по-

строены точечные модели насаждений. Разбиение площади на полигоны позволило рассчитать площадь, среднее расстояние и число соседей в ячейке. По данным параметров размещения и таксационным характеристикам деревьев получены индивидуальные показатели густоты, полноты и запаса каждого дерева на пробной площади.

Выполнен регрессионный анализ зависимости показателей индивидуальных полноты и запаса от параметров размещения деревьев главной породы, по результатам которого установлены статистически значимые взаимосвязи между исследуемыми признаками:

- зависимость площади полигона (многоугольника) от среднего расстояния между деревьями в ячейке;

- зависимость индивидуальной полноты от диаметра ствола и среднего расстояния между деревьями в ячейке;

- зависимость индивидуального запаса от диаметра ствола, высоты дерева и среднего расстояния между деревьями в ячейке.

Показаны возможности использования материалов пробных площадей ГИЛ для совершенствования таксационных таблиц.

Разработаны принципиально новые таблицы определения индивидуальных показателей густоты, полноты и запаса в сложных насаждениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов, А.Н. Имитационное моделирование роста соснового древостоя / А.Н. Борисов, В.В. Иванов // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, 16–19 сентября 2014 г.). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 62–64.

2. Вагин, В.А. Площадь роста и форма стволов ели / В.А. Вагин // Совершенствование научного обеспечения лесохозяйственного производства: тез. докл. всесоюзн. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и специалистов отрасли (15–17 октября 1990 г., Пушкино Моск. обл.). – Пушкино: изд-во ВНИИЛМ, 1990. – С. 11.
3. Вайс, А.А. Морфологические признаки растущих деревьев в «социальных группах» / А.А. Вайс // Известия вузов. Лесной журнал. – 2008. – № 2. – С. 14–18.
4. Вороной, Г.Ф. Избранные труды / Г.Ф. Вороной. – Киев: Изд-во АН УССР, 1952. – С. 239–368.
5. Грек, В.С. Таксационные нормативы подеревной структуры насаждений для инвентаризации сложных лесов Российского Дальнего Востока / В.С. Грек, Ю.А. Волкова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование / Материалы междунар. науч.-техн. конф. Том 1 / Под. ред. В.М. Гедьо. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – С. 45–49.
6. Лебединский, В.В. Метод симметрии в изучении морфоструктуры насаждений / В.В. Лебединский // Использование и воспроизводство лесных ресурсов Дальнего Востока: тез. докл. всесоюзной конф. (ноябрь 1972 г.). – Хабаровск, 1972. – Ч. 1. – С. 203–205.
7. Эйтинген, Г.Р. Избранные труды / Г.Р. Эйтинген. – М.: Сельхозгиз, 1962. – С. 57–78.
8. Vorest – [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.wikiwand.com/es/Vorest> (Дата обращения: 21.12.2017).

REFERENCES

1. Borisov A.N., Ivanov V.V. Imitacionnoe modelirovanie rosta sosnovogo drevostoja. Lesnye biogeocenozy boreal'noj zony: geografija, struktura, funkcii, dinamika: *Materialy Vseros. nauchn. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvjashhennoj 70-letiju Instituta lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN* (Krasnojarsk, 16–19 sentjabrja 2014 g.), Novosibirsk, SO RAN, 2014, pp. 62–64. (In Russian)
2. Vajs A.A. Morfologicheskie priznaki rastushhih derev'ev v social'nyh gruppah. *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal*, 2008, no. 2, pp. 14–18. (In Russian)
3. Vagin V.A. Ploshhad' rosta i forma stvolov eli. Sovershenstvovanie nauchnogo obespechenija lesohozhajstvennogo proizvodstva: *Tez. dokl. vsesojuzn. nauch.-prakt.konf. molodyh uchenyh, aspirantov i specialistov otrasli* (15–17 oktjabrja 1990 g., Pushkino, Moskow region). Pushkino, VNIILM, 1990, pp. 11. (In Russian)
4. Voronoi G.F. Izbrannye trudy, Kiev, AN USSR, 1952, pp. 239–368. (In Russian)
5. Grek V.S., Volkova Ju. A. Taksacionnye normativy poderevnoj struktury nasazhdenij dlja inventarizacii slozhnyh lesov Rossijskogo Dal'nego Vostoka. Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii*. Tom 1. Pod. red. V.M. Ged'o, St. Petersburg, SPbGLTU, 2017, pp. 45–49. (In Russian)
6. Lebedinskij V.V. Metod simmetrii v izuchenii morfostruktury nasazhdenij. Spol'zovanie i vosproizvodstvo lesnyh resursov Dal'nego Vostoka: *Tez. dokl. vsesojuz. konf. (nojabr' 1972 g.)*, Habarovsk, 1972, ch. 1, pp. 203–205. (In Russian)
7. Eytingen G.R. Izbrannye trudy. Moscow, Selhozgiz, 1962, pp. 57–78. (In Russian)
8. Vorest – [elektronny resurs], <http://www.wikiwand.com/es/Vorest>. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 04.04.2018