

## ДИНАМИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Пространственная и временная структура древостоев является основополагающим фактором, определяющим формирование высокопродуктивных насаждений оптимального состава и оптимальной густоты. При изучении пространственной структуры важно выявить закономерности распределения числа деревьев по площади и численные характеристики взаимосвязи таксационных показателей древостоев с элементами их пространственной и временной структуры.

Динамика пространственной структуры изучалась на примере коренных типов сосновых лесов Среднего Урала: сосняка ягодникового и ельника-сосняка травяного. Пробные площади закладывались в наиболее сомкнутых древостоях различных возрастных стадий (табл. 1). Для изучения пространственной структуры на постоянных пробных площадях проводилось картирование древостоя и подроста по квадратам размером 100 м<sup>2</sup>.

Распределение числа стволов по ступеням толщины имеет большое значение при теоретическом обосновании специфики формирования структуры древостоев. Поэтому начальным этапом моделирования формирования сосняков явилось исследование закономерностей распределения. Наибольшую теоретическую ценность для изучения представляют распределения видов: нормального, обобщенного нормального, Пирсона. Нами проводилось исследование форм кривых распределения числа стволов по основным таксационным признакам древостоев в различных возрастных стадиях. Кривые распределения дают исчерпывающую характеристику статистической совокупности. Если форма кривой распределения известна, то в этом случае можно определить полный ряд частот на основании нескольких статистических показателей. Это позволяет использовать кривые распределения для прогнозирования распределения признака (Дыренков, 1977).

Распределение числа деревьев по диаметру рассматривается на примере сосняка ягодникового (табл. 2).

Таблица 1

## Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

№ пробной площади	Состав	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
<b>Сосняк ягодниковый</b>							
1	10С	39	18,3	16,0	29,4	0,88	237
2	6С4Б	43	20,5	20,0	28,7	0,83	246
3	9С1Б	50	20,0	17,0	30,9	0,90	332
4	10С	55	22,3	20,4	35,0	1,00	453
5	9С1Б	55	21,3	21,5	30,8	0,89	376
6	8С1Б10с	57	21,5	21,5	29,8	0,86	293
7	9С1Б	68	24,0	28,0	32,4	0,90	387
8	7С3Б	71	23,5	28,5	27,6	0,74	271
9	9С1Б	73	23,3	25,0	30,6	0,86	382
10	10С	76	23,0	24,0	32,8	0,92	365
11	10С	81	26,5	28,9	29,8	0,81	362
12	8С2Б	84	25,4	30,6	34,8	0,95	390
13	10С	90	26,4	28,4	36,1	0,98	410
14	9С1Б	98	27,6	26,5	36,6	0,89	435
15	7С2Б10с	100	28,5	29,2	30,6	0,81	391
16	8С2Б	110	29,4	30,7	34,9	0,92	423
<b>Ельник-сосняк травяной</b>							
1	6С4Б	43	20,0	18,3	28,8	0,84	245
2	8С2Б	45	19,2	18,6	32,7	0,96	285
3	9С1Б	50	20,6	19,4	31,6	0,92	310
4	8С2Б	51	22,0	19,9	31,4	0,89	320
5	6С2Б20с	55	22,5	20,6	28,1	0,79	275
6	7С3Б	58	23,3	21,1	28,9	0,81	305
7	10С	60	25,1	23,3	29,1	0,80	324
8	8С1Е1Б	60	24,8	22,6	29,5	0,81	340
9	9С1Б	62	24,1	21,9	28,4	0,79	310
10	9С1Б	63	24,0	22,6	31,1	0,86	345
11	7С3Б	66	24,7	25,5	30,4	0,83	337
12	6С4Б	67	24,0	24,6	31,5	0,87	324
13	9С1Б	96	28,4	32,1	33,9	0,91	422
14	10С	118	30,3	36,7	35,6	0,93	466

Установлены следующие закономерности:

1. В молодняках характер распределения хорошо аппроксимируется кривой Пирсона I.

2. С увеличением возраста древостоев наблюдается изменение вида распределения по составляющим породам. Характер распределения хорошо аппроксимируется семейством кривых Пирсона IV и VI типов (Липкин, 1972).

Важную теоретическую роль при обосновании мероприятий по формированию насаждений оптимальной структуры играет изучение закономерностей распределения элементов древостоя по площади (Хаггет, 1968). С этой целью с помощью критериев

Таблица 2

**Распределение деревьев разных возрастных групп по диаметру  
в сосняке ягодниковом**

Ступени толщины	Доля стволов по ступеням толщины, %			
	Молодяки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые
10	—	9	—	—
12	37	13	—	—
14	41	19	5	6
16	14	10	7	7
18	5	16	9	16
20	2	17	12	18
22	1	14	14	21
24	—	2	19	24
26	—	—	12	6
28	—	—	9	2
30	—	—	7	—
32	—	—	5	—
34	—	—	1	—

Холгейта, Хопкинса, Эберхардта оценивался характер размещения на плоскости полученных пространственных распределений деревьев. Построенные ряды распределений числа деревьев в зависимости от расстояний между ними (табл. 3) дают основание сде-

Таблица 3

**Распределение деревьев сосны на 1 га по рядам расстояний**

Ступень толщины	Ряд расстояний, м										Итого
	До 1,4	1,5— 2,4	2,5— 3,4	3,5— 4,4	4,5— 5,4	5,5— 6,4	6,5— 7,4	7,5— 8,4	8,5— 9,4	9,5— 10,4	
14	3	13	4	5	—	—	—	—	—	—	25
16	9	13	2	3	2	1	—	—	—	—	30
18	14	12	7	8	2	1	1	—	—	—	45
20	16	13	12	12	3	2	2	—	—	—	60
22	12	6	22	18	5	3	4	—	—	—	70
24	11	19	19	23	9	5	3	1	—	—	90
26	6	6	12	14	15	7	4	1	—	—	65
28	—	1	4	8	11	14	4	3	—	—	45
30	—	2	3	4	7	8	5	6	—	—	35
32	—	—	—	2	4	6	9	1	2	1	25
34	—	—	—	—	—	—	—	2	2	1	5
Итого	71	85	85	97	58	47	32	14	4	2	500

лать заключение о том, что на ранних стадиях формирования насаждений наблюдается групповое размещение деревьев по площади, на более поздних этапах это распределение имеет вид кривой обобщенного нормального распределения.

Кроме оценки общего распределения деревьев на пробных площадях, был проведен анализ размещения элементов древостоя на квадратах (табл. 4). При характеристике расстояний между

Таблица 4

Статистики рядов распределения расстояний между деревьями  
в древостоях ельника-сосняка травяного

№ квад-рата	Число дере-вьев	Среднее расстоя-ние, м	$\sigma^2, \text{м}^2$	Статистики $\sigma^2 \pm \text{тв}, \text{м}$	$V \pm \text{тв}, \%$
<b>Приспевающие насаждения</b>					
1	20	3,2	2,0	$1,41 \pm 0,22$	$44 \pm 6,96$
2	13	4,0	7,53	$2,74 \pm 0,537$	$69 \pm 13,53$
3	12	3,4	2,78	$1,67 \pm 0,341$	$49 \pm 10,0$
4	12	4,6	6,65	$2,58 \pm 0,526$	$56 \pm 11,43$
5	11	3,7	4,39	$2,10 \pm 0,447$	$57 \pm 12,15$
6	13	3,6	2,30	$1,52 \pm 0,298$	$42 \pm 8,23$
7	12	3,6	5,34	$2,21 \pm 0,451$	$64 \pm 13,06$
8	14	3,5	4,40	$2,10 \pm 0,396$	$60 \pm 11,34$
9	12	4,3	3,36	$1,91 \pm 0,389$	$45 \pm 9,18$
10	13	3,8	4,93	$2,22 \pm 0,435$	$59 \pm 11,57$
11	13	4,1	3,21	$1,79 \pm 0,351$	$44 \pm 8,629$
12	11	4,5	6,99	$2,64 \pm 0,563$	$59 \pm 12,57$
13	12	3,6	2,92	$1,71 \pm 0,349$	$47 \pm 9,59$
14	18	3,7	3,2	$1,80 \pm 0,30$	$49 \pm 8,17$
15	22	3,0	2,1	$1,45 \pm 0,218$	$48 \pm 7,24$
Среднее	—	3,69	3,98	$2,00 \pm 0,3854$	$54 \pm 10,26$
<b>Спелые насаждения</b>					
1	7	3,6	9,01	$3,00 \pm 0,802$	$83 \pm 22,18$
2	6	5,2	6,84	$2,62 \pm 0,76$	$50 \pm 14,43$
4	8	3,5	3,5	$1,73 \pm 0,432$	$49 \pm 12,25$
5	6	4,9	4,84	$2,20 \pm 0,635$	$45 \pm 12,99$
6	10	4,3	5,27	$2,30 \pm 0,514$	$54 \pm 22,07$
7	14	3,1	2,14	$1,46 \pm 0,276$	$47 \pm 8,88$
8	5	4,5	2,77	$1,66 \pm 0,525$	$37 \pm 11,70$
9	6	3,0	4,17	$2,04 \pm 0,589$	$68 \pm 19,63$
10	6	3,9	7,77	$2,79 \pm 0,805$	$72 \pm 20,78$
11	8	4,7	6,58	$2,57 \pm 0,642$	$55 \pm 13,75$
13	9	3,6	2,36	$1,54 \pm 0,363$	$43 \pm 10,13$
14	6	2,6	1,70	$1,30 \pm 0,375$	$50 \pm 14,43$
15	8	4,5	6,47	$2,54 \pm 0,635$	$57 \pm 14,25$
16	7	2,6	1,84	$1,36 \pm 0,363$	$52 \pm 13,89$
17	7	4,4	4,66	$2,16 \pm 0,577$	$49 \pm 13,09$
18	8	4,7	8,43	$2,90 \pm 0,725$	$62 \pm 15,50$
19	8	3,1	1,64	$1,28 \pm 0,32$	$41 \pm 10,25$
20	13	4,4	6,42	$2,53 \pm 0,616$	$58 \pm 11,84$
21	12	4,4	5,65	$2,38 \pm 0,467$	$54 \pm 10,59$
22	5	3,9	1,69	$1,30 \pm 0,411$	$33 \pm 10,43$
23	8	2,3	0,86	$0,93 \pm 0,232$	$39 \pm 9,75$
24	6	4,1	2,40	$1,55 \pm 0,447$	$38 \pm 10,97$
27	9	3,2	3,14	$1,77 \pm 0,417$	$55 \pm 12,96$
28	5	6,2	6,08	$2,47 \pm 0,781$	$40 \pm 12,65$
29	8	4,3	2,85	$1,69 \pm 0,422$	$39 \pm 9,75$
30	5	4,9	3,67	$1,92 \pm 0,607$	$39 \pm 12,33$
Среднее	—	3,93	4,67	$2,16 \pm 0,55$	$55 \pm 14,22$

ближайшими деревьями вычислены статистики изменчивости признаков (дисперсия, основное отклонение, коэффициент вариации). Полученные результаты позволяют сделать вывод об увеличении площади расстояний между деревьями, таким образом, распределение числа деревьев в спелых и перестойных насаждениях носит случайный характер пуассоновского процесса.

В качестве численного показателя неравномерности распределения деревьев в естественных насаждениях было взято отношение среднего расстояния в куртинах к среднему расстоянию между деревьями на всей площади, так называемый коэффициент неравномерности размещения деревьев — КН (Гасс, 1981).

Полученные значения коэффициентов неравномерности подтверждают выводы о том, что на более поздних стадиях формирования сосновых насаждений следует отметить преобладание пуассоновости процесса.

При изучении процессов формирования высокопродуктивных насаждений несомненный интерес представляет исследование взаимосвязи между основными таксационными показателями древостоев и средним расстоянием между деревьями в различных возрастных стадиях насаждений. Для указанных типов сосняков Среднего Урала по данным картирования пробных площадей изучена взаимосвязь расстояний между деревьями с их средним диаметром. Эта взаимосвязь хорошо аппроксимируется корреляционным уравнением параболы второго порядка:

$$R = a + bD + cD^2.$$

Параметры уравнений были рассчитаны с помощью разработанных алгоритмов на ЭВМ. Полученные уравнения позволили составить таблицы значений расстояний между деревьями в зависимости от их диаметров.

При формировании высокопродуктивных лесных насаждений важную роль в исследовании пространственной структуры древостоев играет определение наиболее оптимального количества деревьев на единице площади в различные возрастные стадии их развития. Решение вопроса позволяет более целенаправленно и обоснованно проводить лесохозяйственные мероприятия, способствующие повышению продуктивности лесов и улучшению их состава. Нами по данным пробных площадей прослежена динамика и изучена взаимосвязь числа стволов на единице площади со средним диаметром древостоев. Полученная взаимосвязь хорошо аппроксимируется уравнениями гиперболического и параболического типов. Параметры полученных уравнений определены с помощью составленных алгоритмов и программ на ЭВМ.

Динамика числа стволов на 1 га хорошо описывается простейшим дифференциальным уравнением вида:

$$dx/dt = rx,$$

где  $x$  — число стволов в момент времени  $t$ ;  $r$  — постоянная. Решением этого уравнения является функция  $x = x_0 e^{rt}$ , где  $x_0$  — число стволов в начальный момент времени  $t = 0$ . Определение коэффициента  $r$  произведено по способу наименьших квадратов, в результате чего получаем уравнение:  $\sum \ln x = \ln x_0 + r \sum t$ .

Целью исследования динамики числа стволов является определение прогноза формирования насаждений на длительный период. В связи с этим перспективным следует считать метод многофакторного прогнозирования, заключающийся в построении регрессионной модели вида:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n,$$

где  $y$  — число стволов на 1 га,  $x_1, x_n$  — таксационные показатели древостоя,  $a_0, a_n$  — коэффициенты.

Полученные при исследовании динамики числа деревьев математические модели позволяют прогнозировать естественное изреживание древостоев с учетом как изменений основных таксационных показателей, так и динамики участия пород в составе.

Составленные с помощью математических моделей таблицы динамики числа деревьев по типам леса дают возможность проводить проектирование лесохозяйственных мероприятий, в частности рубок ухода, с целью формирования оптимальной структуры древостоев.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гаас А. А. Влияние характера размещения деревьев на производительность сосновых древостоев // Лесное хозяйство. 1981. № 3. С. 20—25.

Дыренок С. А. Статистический подход к моделированию структуры и динамики древостоев // Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М., 1977. С. 80—93.

Липкин М. И. Кривые распределения в экономических исследованиях. М.; Статистика, 1972. 144 с.

Хэггет П. Пространственный анализ в экономической географии. М.: Статистика, 1968. 391 с.