

## ЗАВИСИМОСТЬ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Севко О.А.

*УО Белорусский государственный технологический университет  
(г. Минск, Беларусь)*

*Зависимость текущего прироста деревьев сосны от таксационных показателей деревьев березы и пространственной структуры древостоя определялась при помощи регрессионного анализа. Основными критериями для оценки уравнений послужили коэффициент корреляции, объясненная доля дисперсии и стандартная ошибка отдельных факторов. В результате исследования были выделены регрессионные уравнения с коэффициентами корреляции для сосны с интенсивным приростом – 0,84, для сосны со средним приростом – 0,56, для доминантной – 0,95.*

### ВВЕДЕНИЕ

Взаимоотношения, складывающиеся между сосной и березой, давно привлекают внимание лесоводов и научных работников. Обе эти породы характеризуются одинаковым светолюбием и в какой-то мере одинаковой требовательностью к почве; береза образует в почве мягкий гумус и предохраняет сосну от энтомо- и фитовредителей (корневой губки, подкорного клопа и др.); участие березы в сосновых культурах уменьшает их пожароопасность.

Но наряду с положительными особенностями, береза имеет и недостатки: угнетающе действует на сосну, особенно в первые 20-30 лет; техническая спелость березы наступает на 30-40 лет раньше, чем у сосны, что в значительной степени осложняет проведение различных организационно-хозяйственных мероприятий; ценность и качество березовой древесины как строительного материала гораздо ниже, чем сосны, участие же ее в культурах сосны по массе нередко бывает весьма значительным.

Сосна и береза имеют большое народно хозяйственное значение и по многим свойствам являются незаменимыми. Между тем, при различном соотношении сосны и березы экономическая характеристика смешанного насаждения резко меняется. По данным исследований В.Ф. Багинского на примере двух одновозрастных (60 лет) сосново-березовых насаждений различной степени смешения (6С4Б и 9С1Б), но произрастающих в одинаковых почвенно-грунтовых условиях выявлено, что процент выхода крупной древесины больше в насаждении, которое имеет в составе 40% березы. Запас же ликвидной древесины оказался несколько больше в насаждении с меньшей долей участия березы. Последнее обстоятельство объясняется более полнодревесной формой стволов сосны, по сравнению с березой, что было отмечено выше [3].

Именно значительной относительной разновозрастностью естественных молодняков, особенно при их смешанном составе, В.Ф. Багинский объясняет очень высокие показатели вариации диаметров и высот в этих насаждениях. Особое внимание при исследовании смешанных древостоев следует обращать на характер их пространственной (горизонтальной) структуры. Здесь выделяют биогруппы деревьев, а внутри последних различают деревья по классам роста [1].

При исследовании смешанных древостоев одним из важнейших вопросов является установление влияния состава древостоя на динамику таксационных показателей. Оно может рассматриваться как значительное взаимное влияние составляющих пород при достижении некоторых критических значений состава и при определенном размещении разнопородных деревьев на участке [2]. Так, критической величиной обычно считают разницу в 3 единицы состава. Угнетение сосны березой будет при любом составе при относительно равномерном смешении этих древесных видов. Небольшая примесь березы (20-30%) положительно влияет на рост и развитие сосны [5].

При создании смешанных насаждений сосны необходимо учитывать их взаимоотношения при совместном произрастании. Выявить воздействие состава древостоя на динамику таксационных показателей очень трудно, т.к. оно сглаживается различиями в исходном материале из-за несколько неодинаковых условий местопроизрастания, колебаниями возраста, полноты и пространственной структуры [2].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение степени влияния пространственной структуры сосново-березового древостоя, а точнее примеси березы на текущий прирост деревьев проводилось по данным детальной таксации 408 деревьев сосново-березового древостоя 1-го класса бонитета орлякового типа леса в возрасте 67 лет. Пробная площадь (ПП) была заложена в 6-м выделе 29-го квартала Негорельского учебно-опытного лесхоза. На ПП для каждого дерева определены: диаметр С-Ю и З-В, высота, возраст, диаметр кроны С-Ю и З-В, протяженность кроны, качественная категория, особенность кроны, площадь поперечного сечения и объем каждого ствола, а также координаты X и Y в условной системе координат.

В ходе обработки экспериментальных данных и картирования по собранным в процессе полевых работ координатам была определена пространственная структура древостоя. При помощи программных средств географической информационной системы *Quantum GIS (Q-GIS)* построена схема расположения деревьев на пробной площади (рисунок 1).

Для наглядного изображения влияния деревьев различных древесных видов на основании данных картирования крон деревьев ПП в *Quantum GIS* была построена схема расположения их на пробной площади с указанием диаметров крон деревьев сосны и березы.

Созданная цифровая модель, представляет собой пространственное распределение деревьев в древостое. Данная ГИС сочетает в себе картографическую и атрибутивную информацию об объекте исследований и множество инструментов анализа пространственных данных (расстояния между деревьями, кронами, высоты суммы и соотношение расстояний до 10 ближайших деревьев и т. д.), которые позволяют быстро и точно обработать полевые материалы [6].

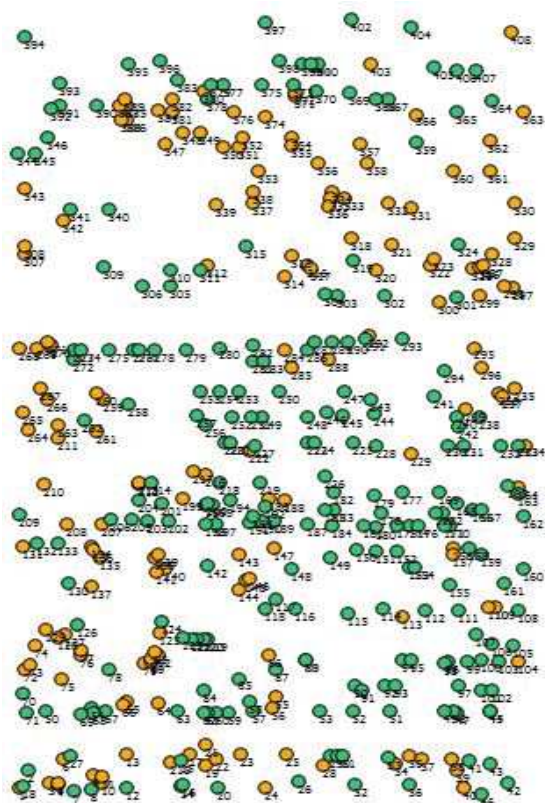


Рисунок 1 – Схема расположения деревьев на ПП (Quantum GIS)

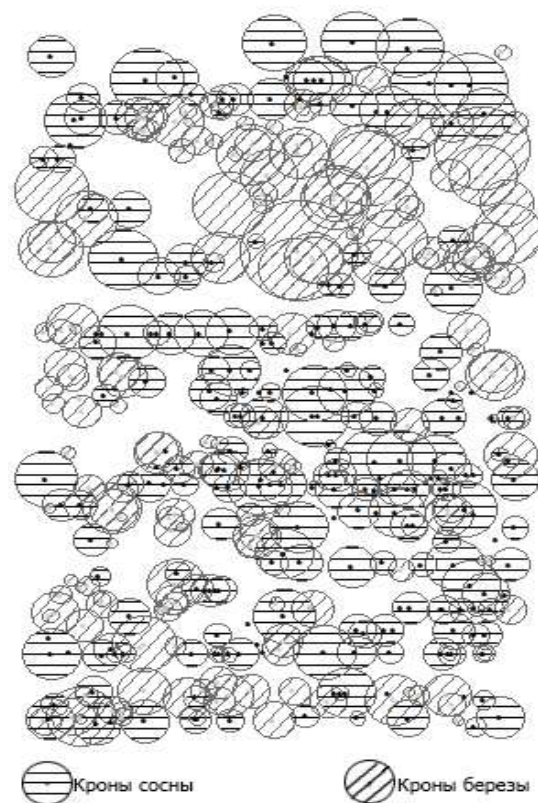


Рисунок 2 – Схема расположения деревьев и перекрытий крон на ПП

На рисунке 2 хорошо видно, что конкуренция березы и сосны в насаждении довольно сильна и сразу же прослеживается влияния пространственной структуры размеры крон деревьев, а, следовательно для разновозрастного древостоя и на другие таксационные показатели деревьев каждой из пород. В ходе обработки экспериментальных данных и картирования по собранным в процессе полевых работ координатам, были определены средние и общие таксационные показатели. При исследовании смешанного древостоя были выявлены следующие особенности обработки экспериментального материала и, особенно, анализа полученных результатов.

Во-первых, объемы счетных работ здесь увеличиваются в несколько раз, так как расчеты должны выполняться для каждой породы. Но это чисто количественное отличие при обработке экспериментального материала чистых и смешанных насаждений. Во-вторых, и это качественное отличие, нахождение закономерных связей таксационных показателей между породами, составляющими древостой и пространственной структурой древостоя.

Для определения зависимости текущего прироста сосны от примеси березы у 44 деревьев сосны определялся радиальный прирост (обработаны данные по кернам). В зависимости от величины радиального прироста за 10 лет данные разделены на три группы: слабый радиальный прирост за 10 лет – 0-10 мм, средний – 10-20 мм, и интенсивный – 20 мм и более.

Вычисление процента текущего прироста по объему стволов ( $P_V$ ) у исследуемых деревьев использовались методы:

1) Г. М. Турского:

$$P_V = (k + 2)P_d = (k + 2) \frac{200}{n} \cdot \frac{d_a - d_{a-n}}{d_a + d_{a-n}};$$

2) Пресслера:

$$P_V = \frac{200(r^x - (r-1)^x)}{n(r^x + (r-1)^x)},$$

3) Шнейдера:

$$P_V = \frac{Ki}{d_a};$$

где  $n$  – период прироста, лет;

$x$  – показатель степени, зависит от энергии роста в высоту и протяженности кроны (таблица 1, 2);

$r$  – относительный диаметр, определяется как отношение диаметра без коры на высоте 1,3 м в настоящее время к текущему периодическому приросту по диаметру на высоте 1,3 м.

Результаты вычислений по трем методам получились очень близкие. Для дальнейшей обработки были приняты показатели процента текущего прироста по объему, полученные по формуле Шнейдера. Вычислялся годичный процент прироста по объему, а далее, непосредственно, текущий годичный прирост по объему (таблица 1).

Далее для определения степени зависимости текущего прироста деревьев сосны от пространственной структуры сосново-березовых древостоев при помощи программных средств *Q-GIS* было найдено среднее расстояние до ближайших к сосне стволов березы, расположенных на расстоянии равном диаметру кроны центральной в группе сосны с известным текущим приростом. Анализ экспериментального материала был проведен на основе обработки координат деревьев в программе *Q-GIS*. Подготовка данных проходила в таблицах атрибутов слоев.

Для выявления факторов, наиболее выражено влияющих на радиальный прирост исследуемых деревьев сосны, в пакете программ *STATISTICA 10.0* формировались корреляционные решетки. В результате анализа определялось численное значение корреляции между текущим приростом деревьев сосны и параметрами пространственной структуры и таксационными показателями деревьев березы в каждой группе. Наибольшее влияние на текущий прирост по объему деревьев сосны по результатам корреляционного анализа



оказывают: среднее расстояние до берез в группе, высота, диаметры крон и объем ствола деревьев березы.

Влияние таксационных показателей деревьев березы на радиальный прирост сосны определялось при помощи многофакторного регрессионного анализа.

Таблица 1 – Таксационно-пространственные показатели исследуемых деревьев

Характеристики деревьев сосны					Показатели деревьев березы			
Радиальный прирост за 10 лет, мм	диаметр, см	процент прироста, %	объем ствола, м <sup>3</sup>	годовой прирост по объему, м <sup>3</sup>	среднее расстояние до сосны в группе, м	высота, м	диаметр кроны, м	объем ствола, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слабый прирост деревьев сосны								
6	10,25	2,93	0,05	0,0015	2,63	19,5	3,3	0,1967
9,5	20,9	2,27	0,34	0,0078	4,13	23,3	3,7	0,2282
9	9,40	4,79	0,05	0,0024	2,82	20,2	3,0	0,2699
4	11,95	1,67	0,06	0,0010	2,40	17,5	1,7	0,1401
5	15,45	1,62	0,43	0,0070	2,52	27,8	3,8	0,3977
6	13,00	2,31	0,33	0,0076	3,00	22,1	3,4	0,2383
3,5	14,10	1,24	0,11	0,0013	3,28	16,3	2,2	0,0997
5,5	18,80	1,46	0,09	0,0013	3,35	21,2	3,3	0,1934
6	16,40	1,83	0,22	0,0041	2,28	23,9	3,0	0,2981
6,5	16,60	1,96	0,12	0,0039	3,22	22,1	2,7	0,2318
5	12,50	2,00	0,08	0,0016	3,69	26,3	7,0	0,7240
5	19,05	1,31	0,29	0,0038	3,21	24,3	4,7	0,4411
5,5	16,40	1,68	0,20	0,0034	2,86	24,7	4,0	0,3945
6	16,50	1,82	0,18	0,0033	2,65	18,8	1,7	0,1129
Средний прирост деревьев сосны								
10	17,75	3,21	0,20	0,0064	2,03	18,1	3,3	0,1873
16	21,65	4,21	0,35	0,0149	1,96	21,6	3,6	0,1578
14,5	20,70	3,99	0,31	0,0123	2,59	19,8	3,3	0,2177
17,5	22,70	4,39	0,38	0,0166	5,07	16,8	2,7	0,1200
15,5	16,35	5,40	0,19	0,0102	3,21	20,0	2,3	0,2300
18	23,00	4,46	0,38	0,0170	3,77	23,7	3,0	0,2642
14	19,9	4,01	0,29	0,0116	3,02	22,2	2,9	0,2297
12,5	28,25	2,52	0,32	0,0080	3,03	21,1	3,0	0,2150
12,5	20,4	3,49	0,31	0,0109	3,50	21,2	2,5	0,1954
10,5	20,4	2,93	0,22	0,0063	3,87	19,3	2,4	0,1462
13,5	21,8	3,53	0,33	0,0116	3,63	21,1	3,5	0,2316
15	18,5	4,62	0,26	0,0120	2,45	18,5	2,7	0,1702
12	18,45	3,71	0,22	0,0083	3,39	23,9	3,0	0,2981
10	19,25	2,96	0,29	0,0086	2,50	20,3	2,9	0,1996
15	19,4	4,41	0,29	0,0130	3,90	22,7	1,8	0,2892
18	16,05	6,39	0,14	0,0088	4,19	22,5	5,8	0,3756
18,5	20,4	5,17	0,33	0,0169	3,58	17,8	2,2	0,1284
19,5	25,65	4,33	0,48	0,0209	4,44	20,6	3,3	0,2426
11	29,35	2,14	0,67	0,0144	6,70	21,3	4,3	0,2977
Интенсивный прирост деревьев сосны								
26	27,1	6,04	0,62	0,0377	4,74	25,4	3,5	0,3237
24,5	28,75	5,37	0,80	0,0431	3,99	22,5	2,9	0,2170
22,5	15,45	9,17	0,16	0,0151	4,13	26,3	3,3	0,3336

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	19,9	9,50	0,79	0,0748	5,17	20,7	3,4	0,1932
23	25,3	5,73	0,54	0,0309	2,86	20,8	2,3	0,2143
25,3	28,7	5,55	0,70	0,0389	7,42	22,9	4,5	0,5181
25,4	24,9	6,43	0,47	0,0301	5,43	22,3	5,0	0,3786
32	25,85	7,80	0,52	0,0407	5,25	20,6	4,8	0,3081
20	17,25	7,30	0,21	0,0150	3,45	22,0	2,6	0,2318

При выборе регрессионных уравнений наиболее точно описывающих взаимосвязь текущего радиального прироста и прироста по объему ( $Z_v$ ) с таксационно-пространственными показателями березовой части древостоя (высотой  $H$ , диаметром крон ( $D_k$ ), объемама ( $V$ ) и средним расстоянием до деревьев ( $L$ )) в качестве основных критериев отбора уравнений служили коэффициент корреляции ( $R$ ) и показатель объясненной доли дисперсии (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа влияния таксационно-пространственных показателей березовой части древостоя на текущий прирост по объему деревьев сосны

Уравнение	Объясненная доля дисперсии	Коэффициент корреляции, $R$
1	2	3
Низкий прирост деревьев сосны		
$Z_v=b_0+b_1*H+b_2*D_k^2*H+b_3*V^3+b_4*L/(b_5*L^2+b_6*H+b_7)$	0,71	0,84
$Z_v=b_0+b_1*H^2+b_2*D_k^2+b_3/V+b_4*L^2$	0,64	0,80
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2$	0,294	0,54
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2+b_4*(\log(H))^2$	0,604	0,78
Средний прирост деревьев сосны		
$Z_v=b_0+b_1*H+b_2*D_k^2*H+b_3*V^3+b_4*L/(b_5*L^2+b_6*H+b_7)$	0,31	0,56
$Z_v=b_0+b_1*H^2+b_2*D_k^2+b_3/V+b_4*L^2$	0,23	0,48
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2$	0,21	0,46
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2+b_4*(\log(H))^2$	0,23	0,48
Высокий прирост деревьев сосны		
$Z_v=b_0+b_1*H+b_2*D_k^2*H+b_3*V^3+b_4*L/(b_5*L^2+b_6*H+b_7)$	0,90	0,95
$Z_v=b_0+b_1*H^2+b_2*D_k^2+b_3/V+b_4*L^2$	0,88	0,94
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2$	0,86	0,93
$Z_v=b_0+b_1*(\log(D_k))^2+b_2/V+b_3*(\log(L))^2+b_4*(\log(H))^2$	0,87	0,94

Подобранные регрессионные уравнения для деревьев сосны с наименьшим и наибольшим текущим приростом имеют достаточно высокие показатели данных критериев.

Так коэффициент корреляции текущего прироста по объему для деревьев сосны с радиальным текущим приростом за 10 лет до 10 мм составил 0,84, а с интенсивным (радиальный прироста за 10 лет – свыше 20 мм) – коэффициент корреляции отдельных уравнений достигал до 0,94-0,95. Относительно невысокая корреляция, до 0,56 наблюдается при анализе влияния таксационно-пространственных показателей березовой части древостоя на текущий

прирост по объему у деревьев сосны со средним радиальным приростом (от 10 до 20 мм за 10 лет).

Следует отметить, что наименьшая корреляция между таксационно-пространственными показателями березы и текущим приростом по объему деревьев сосны отмечена у хвойной породы с текущим приростом средней интенсивности. Причем корреляция перечисленных характеристик деревьев березы с радиальным приростом сосны для всех интенсивностей прироста была ниже, чем при оценке регрессионных уравнений для прироста по объему.

В результате анализа расстояний между деревьями сосны и березы в пределах биогруппы было выявлено:

- среднее расстояние до ближайших берез в биогруппах с угнетенной сосной составляет в среднем 3,0 м и менее;
- сосна имеет средний прирост там, где в пределах двух диаметров ее кроны находятся стволы березы, и расстояние между ними составляет порядка 3,5 м;
- доминирующее положение сосна занимает в биогруппах со средним расстоянием до деревьев березы 4,7 м.

Выявленные закономерности позволят в дальнейшем смоделировать оптимальную пространственную структуру смешанных сосново-березовых древостоев, на основе которой в последствии разрабатывать программы формирования древостоев, использовать в качестве рекомендаций к рубкам ухода или при целевом лесовыращивании.

## ВЫВОДЫ

Работа посвящена актуальной теме: определено воздействие таксационных показателей березы и влияние пространственной структуры сосново-березовых древостоев на прирост деревьев сосны.

Анализ влияния пространственной структуры на прирост деревьев сосны показал, что для угнетенной сосны среднее расстояние до ближайших берез в биогруппах составляет в среднем 3,0 м и менее; для сосны со средним приростом – 3,5 м; для доминирующей в биогруппе – 4,7 м.

В результате многофакторного регрессионного анализа была определена и описана степень влияния таксационно-пространственных показателей березовой части на текущий прирост по объему сосновой части древостоев. Коэффициенты корреляции уравнений связи указанных выше показателей составили от 0,84 до 0,95, что подтверждает точность и достоверность полученных регрессионных моделей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Багинский В.Ф. Методические особенности исследования смешанных древостоев Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси, Гомель, 2002, Вып.55. -С. 168-189
2. Багинский В.Ф., Ефименко В.М., Усс Е.А. Моделирование динамики продуктивности сосново-березовых насаждений Проблемы лесоведения и ле-

соводства: сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси, 2003, Вып.56.-С. 207-228

3. Ефименко В.М., Багинский В.Ф. Параметры формирования сосново-березовых культурфитоценозов Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях: сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси, Гомель, 2004 , Вып. 60.- С. 67-79

4. Лесная энциклопедия: В:2-х т., т.2/Гл.ред. Воробьев Г.И.; Ред.кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1986.- 631с.

5. Севко О.А., Коцан В.В. Методика создания цифровой модели пространственного распределения деревьев по материалам постоянных пробных площадей с использованием ГИС-технологий // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. – 2011. – Вып. XIX. – С. 53-57.

**DEPENDENCE OF THE CURRENT GROWTH  
OF THE PINE ON SPATIAL STRUCTURE OF PINE  
AND BIRCH FOREST STANDS**

*Sevko O.A.*

*The dependence of the current increment of trees pine trees from the forest indices baacuts and spatial stand structure was determined using regression analysis. The main criteria for the evaluation of equations served as the correlation coefficient, the explanation of the proportion of variance and standard error of the individual factors. As a result, studies have highlighted the regression equation with correlation coefficients for pine-intensive growth – 0,84, pine average growth – 0,56 for the dominant-term – 0,95.*

**Статья поступила в редколлегию 15.03.2015 г.**

