

УДК 630\*561

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИРОСТА НАСАЖДЕНИЙ

С. Н. СВАЛОВ  
ВНИИЛМ

Эффективность внесения удобрений, осушения, рубок ухода и других лесохозяйственных мероприятий устанавливают по величине дополнительного прироста насаждений. Отрицательные значения дополнительного прироста характеризуют влияние неблагоприятных факторов на лесные насаждения, таких как промышленные эмиссии, нападение насекомых-вредителей, рекреационное воздействие.

Самый простой метод определения дополнительного прироста  $\Delta Z_{\Theta}$  какого-либо таксационного признака  $\Theta$  насаждения — измерение и расчет средних (или суммарных) значений текущего прироста этого признака на двухсекционной пробной площади, на одной из секций которой проведено исследуемое мероприятие, а другая оставлена в качестве контрольной:

$$\Delta Z_{\Theta} = Z_{\Theta 1} - Z_{\Theta 2}, \quad (1)$$

где  $Z_{\Theta 1}$  и  $Z_{\Theta 2}$  — прирост по таксационному признаку  $\Theta$  на исследуемой и контрольной секциях.

Для определения  $Z_{\Theta 1}$  и  $Z_{\Theta 2}$  строят уравнения регрессии значений этих приростов в зависимости от диаметров  $d$  или квадратов диаметров стволов на высоте груди соответственно для исследуемой и контрольной секций, а затем рассчитывают  $\Delta Z_{\Theta}$ , используя данные перечетов стволов по ступеням толщины и выравненные по уравнениям регрессии значения текущих приростов  $\hat{z}_{\Theta t}$  таксационного признака  $\Theta$  на опытной ( $t=1$ ) и контрольной ( $t=2$ ) секциях.

При выравнивании измеренных значений текущих приростов по радиусу  $z_r$  и высоте деревьев  $z_h$  в качестве независимой переменной берут диаметры стволов  $d$ , а для текущих приростов по площадям сечений  $z_g$  и объемам стволов  $z_v$  — квадраты диаметров. Вместо  $d$  иногда принимают относительные диаметры  $R_d$ , выраженные в долях от среднего диаметра древостоя:  $R_d = d/D_t$ . Средние квадратичные диаметры  $D_t$  рассчитывают по материалам перечетов деревьев по ступеням толщины для каждой секции ( $t=1, 2$ ).

Наиболее трудный момент при организации работ по закладке пробных площадей для оценки эффекта от лесохозяйственных мероприятий — подбор двух однородных секций пробной площади. В связи с тем, что невозможно подобрать абсолютно однородные участки, дополнительный прирост, получаемый путем сравнения результатов таксации на опытной и контрольной секциях, не может характеризовать действительный эффект от проведенного лесохозяйственного мероприятия.

Для устранения систематической ошибки, возникающей из-за различий в изучаемых таксационных характеристиках сравниваемых секций до проведения хозяйственного мероприятия, И. В. Бочаров [1] предложил оценивать дополнительный радиальный прирост на основе построения не двух, а четырех регрессионных зависимостей значений  $z_r$  от  $R_d$ :

$$\hat{z}_{rt} = b_{0t} + b_{1t}R_d, \quad t = 1, 2, 3, 4, \quad (2)$$

где  $\hat{z}_{rt}$  — выравненные значения радиального прироста на опытной ( $t=1$ ) и контрольной ( $t=2$ ) секциях после воздействия и, соответственно, на опытной ( $t=3$ ) и контрольной ( $t=4$ ) секциях до проведения хозяйственного мероприятия;

$b_{0t}$  и  $b_{1t}$  — свободные члены и коэффициенты соответствующих регрессий ( $t=1, 2, 3, 4$ ).

Радиальный прирост за периоды до и после проведения хозяйственного мероприятия измеряют одновременно на одних и тех же деревьях. В предположении, что различие в радиальных приростах, существовавшее между совокупностями деревьев опытной и контрольной секций в период до проведения хозяйственного мероприятия, должно сохраниться без изменения до момента измерения прироста после воздействия, дополнительный радиальный прирост при относительном диаметре  $R_d$  будет составлять:

$$\Delta z_r = b_{01} - b_{02} - b_{03} + b_{04} + (b_{11} - b_{12} - b_{13} + b_{14})R_d = b_0 + b_1R_d. \quad (3)$$

Таким образом, дополнительный радиальный прирост  $\Delta z_r$  имеет линейную зависимость от диаметров  $d$  или относительных диаметров  $R_d$  стволов на высоте груди.

В работе [1] показано, что коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  уравнения (3) являются достоверными при вероятности безошибочного заключения 0,68.

Эффективность регрессионных оценок  $\widehat{\Delta z_r}$  можно увеличить двумя путями: 1) вместо четырех регрессий (2) рассчитывать две множественные регрессии с удвоенным объемом выборки, включив фиктивную переменную, характеризующую наличие или отсутствие воздействия; 2) обычный метод наименьших квадратов при расчете свободного члена и коэффициентов регрессии заменить взвешенным методом наименьших квадратов. Учитывая, что связь  $\Delta z_r$  с  $R_d$  имеет линейный вид (3), для данных, полученных на опытной и контрольной секциях, строят две множественные регрессии: 1) для периода после проведения хозяйственного мероприятия ( $l=1$ ); 2) до воздействия ( $l=2$ ):

$$\widehat{z_{rl}} = b_{0l} + b_{1l}R_d + b_{2l}x + b_{3l}R_dx, \quad l = 1, 2, \quad (4)$$

где  $x$  — фиктивная переменная, имеющая значение 1 для опытной секции и 0 — для контрольной.

Величина  $b_{21} + b_{31}R_d$  характеризует дополнительный радиальный прирост без учета различий в приросте до воздействия на сравниваемых секциях. Если следовать допущению уравнения (3) о стабильности различия в радиальных приростах на сравниваемых секциях, то скорректированные значения дополнительного радиального прироста для относительных диаметров  $R_d$  равны:

$$\widehat{\Delta z_r} = b_{01} + b_{21} - b_{02} - b_{22} + (b_{11} + b_{31} - b_{12} - b_{32}) R_d, \quad (5)$$

где  $b_{jl}$  ( $j=0, 1, 2, 3; l=1, 2$ ) — оценки параметров регрессий (4).

Более точные оценки  $\widehat{\Delta z_r}$  можно получить в предположении изменения различия в  $z_r$  на сравниваемых секциях пропорционально изменению значений  $z_r$  за период между двумя измерениями:

$$\widehat{\Delta z_r} = b_{21} + b_{31}R_d - \frac{(b_{22} + b_{32}R_d)(b_{01} + b_{11}R_d)}{b_{02} + b_{12}R_d}. \quad (6)$$

Для повышения точности определения среднего значения дополнительного радиального прироста  $\Delta Z_r$  следует рассчитывать оценки  $b_{jl}$  не обычным, а взвешенным методом наименьших квадратов с весами наблюдений  $\sqrt{w} = 1/R_d$ . При этом можно пользоваться схемой вычислений обычного метода наименьших квадратов, если регрессии (4) представить в виде:

$$\widehat{y_l} \equiv \widehat{z_{rl}/R_d} = \frac{b_{0l}}{R_d} + b_{1l} + \frac{b_{2l}x}{R_d} + b_{3l}x, \quad l = 1, 2. \quad (7)$$

Дополнительный радиальный прирост древостоя  $\Delta Z_r$  находят по формуле (6), подставляя в нее оценки  $b_{jl}$ , рассчитанные взвешенным методом наименьших квадратов, и  $R_d = 1$ . Для определения дополнительного текущего прироста по сумме площадей сечений  $\Delta Z_G$  или запасу древостоя  $\Delta Z_M$  значения приростов по площадям сечений  $z_g$  или объемам стволов  $z_v$  выравнивают взвешенным методом наименьших квадратов с весами  $\sqrt{w} = 1/R_d$  по регрессиям

$$\widehat{z_{gl}} \text{ (или } \widehat{z_{vl}}) = b_{0l} + b_{1l}R_d^2 + b_{2l}x + b_{3l}R_d^2x, \quad l = 1, 2. \quad (8)$$

Оценки  $b_{jl}$  взвешенных регрессий (8) можно получить с помощью обычного метода наименьших квадратов для регрессий

$$\widehat{y_l} \equiv \widehat{z_{gl}/R_d^2} \text{ (или } \widehat{z_{vl}/R_d^2}) = \frac{b_{0l}}{R_d^2} + b_{1l} + \frac{b_{2l}x}{R_d^2} + b_{3l}x, \quad l = 1, 2. \quad (9)$$

Дополнительные приросты  $\Delta Z_G$  и  $\Delta Z_M$  равны

$$\Delta Z_G \text{ (или } \Delta Z_M) = (b_{21} + b_{31}) N_1 - \frac{(b_{22} + b_{32}) N_3 (b_{01} + b_{11}) N_2}{(b_{02} + b_{12}) N_4}, \quad (10)$$

где  $N_t$  — густота древостоя на опытной ( $t=1$ ) и контрольной ( $t=2$ ) секциях после проведения хозяйственного мероприятия и на этих же секциях ( $t=3$  и  $t=4$ ) до воздействия на насаждение, деревьев/га.

Точность метода проверена на материалах таксации двухсекционной пробной площади, заложенной в ельнике-кисличнике I класса бонитета со средним диаметром древостоя на контрольной секции  $D_2 = 23,2$  см через 9 лет после внесения на опытной секции 270 кг/га азотного удобрения. Установлено, что при оценке  $\Delta Z_r$  и  $\Delta Z_G$  эффективность предполагаемого метода примерно в два раза выше, чем при расчете этих показателей на основе четырех парных регрессий, т. е. при одинаковой точности результатов требуется вдвое меньше учетных деревьев для измерения прироста.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бочаров И. В. Оценка действия азотных удобрений в еловых древостоях с применением регрессионного анализа // Математические методы и ЭВМ в лесохозяйственных задачах.— М.: ВНИИЛМ, 1979.— С. 161—170.

УДК 630\*181.36

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДЕРЕВЬЕВ\*

Ю. М. ДЕБРИНЮК, И. И. МЯКУШ

Львовский лесотехнический институт

Известно, что корневые системы деревьев в насаждениях обладают способностью пространственного взаимопроникновения.

Мы исследовали пространственную структуру корневых систем в лесных культурах 30-летнего возраста на территории Верховинского лесокombината в условиях Украинских Карпат. Почвы — бурые горно-лесные оподзоленные среднемощные, тип лесорастительных условий — влажный сугруд. Состав насаждения — 7Е2П1Бк+Кл. Размер пробной площади 100 × 10 м.

Исследования показали, что деревья одного возраста, но разных видов и групп роста, используют для своей жизнедеятельности различные площади питания (табл. 1).

Таблица 1

## Стереометрическая характеристика корневых систем

Группа роста деревьев	Число деревьев на 1 га, шт.	Площадь питания одного дерева, м <sup>2</sup>	Среднегодовой прирост площади питания на 1 га, м <sup>2</sup>	Объем питания одного дерева, м <sup>3</sup>	Среднегодовой прирост объема питания на 1 га, м <sup>3</sup>	Площадь проекции кроны одного дерева, м <sup>2</sup>	Среднегодовой прирост площади проекции кроны, м <sup>2</sup>	Отношение площади проекции кроны к площади проекции кроны
Ель обыкновенная								
Лучшие	300	26,8	270,0	5,78	57,0	17,8	117,0	1,5
Средние	940	18,2	564,0	2,65	84,6	5,7	178,6	3,2
Отстающие	800	9,1	240,0	1,28	32,0	5,9	160,0	1,5
Пихта белая								
Лучшие	80	58,2	155,2	29,10	77,6	16,0	42,4	3,6
Средние	290	38,5	371,2	15,42	147,9	11,2	107,3	3,4
Отстающие	290	13,3	127,6	4,86	46,4	2,3	23,2	5,8
Бук лесной								
Лучшие	150	38,7	193,5	12,89	64,5	6,2	30,0	6,2
Средние	500	13,3	220,0	2,66	45,0	4,7	80,0	2,8
Отстающие	880	7,8	228,8	1,04	26,4	1,5	44,0	5,2
Клен-явор								
Лучшие	30	31,1	31,2	7,30	7,2	6,1	6,0	5,1
Средние	50	33,1	55,0	6,96	10,0	2,2	3,5	15,0
Отстающие	200	13,5	90,0	1,58	10,0	1,1	8,0	12,3

\* Работа выполнена под руководством д-ра с.-х. наук проф. М. И. Калинина.