

### III. ТАКСАЦИЯ И ЛЕСОУСТРОЙСТВО

#### ВЗАИМОСВЯЗИ ОСНОВНЫХ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКАХ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ БССР

Ф. П. МОИСЕЕНКО, В. Ф. БАГИНСКИЙ

(Белорусский научно-исследовательский институт лесного хозяйства)

Исследование взаимосвязей между диаметрами и высотами, а также видовым числом проведено на материале 33 пробных площадей, заложенных в культурах сосны I—III бонитета в возрасте 5—40 лет. Для этого были замерены высоты и диаметры у 2427 деревьев. Связь видового числа ( $f$ ) с другими таксационными показателями устанавливалась по замерам 820 срубленных модельных деревьев, для которых обычным путем были найдены видовые числа. Собранный материал был сгруппирован по бонитетам, а в пределах бонитетов — по возрасту: 5—7 лет, 10—20 лет, 25—40 лет. В 5—7-летних культурах базовые замеры диаметров проведены на высоте 0,25 м. Относительно этой же высоты вычислялись и видовые числа.

Расчеты проведены на ЭВМ «Минск-22» по программе регрессионного анализа [2].

Чтобы иметь придержки для определения вида кривой, были проверены 5 наиболее часто встречающихся в практике уравнений. Поскольку использованная программа позволяет вести отсев незначимых аргументов  $t$ -критерию, то мы смогли использовать для анализа усложненные кривые:

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4; \quad (1)$$

$$y = a_1x + \frac{a_2}{x} + \frac{a_3}{x^2} + a_4; \quad (2)$$

$$y = \frac{a_1}{x} + \frac{a_2}{x^2} + a_3; \quad (3)$$

$$\ln y = a_1 \ln x + c; \quad (4)$$

$$\text{где } c = \ln a_2, \text{ т. е. } y = a_2 x^a; \quad (4a)$$

$$y = a_1 \ln x + a_2 \ln \ln x + a_3. \quad (5)$$

Уравнения вида

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_3; \quad (6)$$

$$y = \frac{a_1}{x} + a_2; \quad (7)$$

$$y = a_1 \ln x + a_2 \quad (8)$$

получались автоматически, если последний член уравнения (1, 3, 5) был не значим.

Для всех видов уравнений определены их параметры, а также вычислены критерии для оценки найденных уравнений регрессии.

Таблица 1

## Характеристики уравнений

Возраст, лет	Бонитет	Вид и параметры уравнений	$D^*$	$S^2_{1y}$	$F_1$	$K$	$S^2_{Ty}$	$F_T$	$v_i$	$z_i$
5—7	I	$\ln H = 0,6294 \ln D - 0,4144$	0,76	0,0117	4,07	0,87	6,84	585	0,08	0,08
10—20	I	$\ln H = 0,7262 \ln D + 0,4352$	0,69	0,0636	3,18	0,83	26,5	416	0,21	0,24
5—7	II	$\ln H = 0,6691 \ln D - 0,5989$	0,71	0,0145	3,40	0,84	4,3	293	0,10	0,10
9—10	II	$\ln H = 0,4424 \ln D + 0,6038$	0,86	0,0087	7,08	0,93	7,10	816	0,07	0,07
15—20	II	$\ln H = 0,5323 \ln D + 0,9390$	0,85	0,0217	6,57	0,92	27,3	1259	0,12	0,11
25—40	II	$\ln H = 0,5007 \ln D + 1,3761$	0,81	0,0090	5,37	0,90	7,65	849	0,07	0,08
9—11	III	$\ln H = 0,3339 \ln D + 0,7012$	0,88	0,0078	8,26	0,94	2,21	284	0,06	0,06
12—20	III	$\ln H = 0,5335 \ln D + 0,7142$	0,87	0,0200	7,38	0,93	37,67	1884	0,11	0,12
25—40	III	$\ln H = 0,5286 \ln D + 1,1943$	0,76	0,0144	4,09	0,87	11,36	788	0,10	0,10

Для оценки уравнений вычислялись: парные коэффициенты корреляции между функцией и каждым из аргументов ( $r_{y/x}$ ), коэффициент множественной корреляции ( $R$ ), частные коэффициенты детерминации ( $D_{y/x}$ ), коэффициент множественной детерминации ( $D^*$ ), внутренняя мера определенности ( $d_{\text{вн}}$ ), остаточная дисперсия для уравнения в натуральных переменных ( $S^2_{iy}$ ), дисперсионное отношение ( $F_1$ ), учитываемая дисперсия ( $S^2_{\text{чл}}$ ),  $t$ -критерии Стьюдента, соответствующие аргументам уравнения ( $t_i$ ), частные коэффициенты корреляции между аргументами ( $r_{xi/xj}$ ), коэффициенты корреляции между коэффициентами уравнения регрессии ( $r_{ki/kj}$ ), средняя и средневзвешенная ошибка аппроксимации ( $\epsilon_1 \epsilon_2$ ), стандартная ошибка ( $\epsilon_3$ ). Были вычислены также расчетные значения функции и отклонения их от фактических. Учет всех этих критериев, взятых в комплексе, позволил отобрать уравнения, наилучшим образом отражающие связь между  $H$  и  $D$  в пределах каждой возрастной группы и класса бонитета.

Проведенной проверкой было установлено двумерное нормальное распределение массивов статистических данных, поскольку коэффициент корреляции между рядами распределения случайных величин имеет четкий математический смысл только при двумерном нормальном распределении.

Всего для установления названных связей было проанализировано 50 уравнений регрессии. Оказалось, что несколько лучше других для молодых сосновых культур зависимость  $H$  и  $D$  передает уравнение вида  $\ln y = a_1 \ln x + c$ , приводящее к уравнению  $y = a_2 x^{a_1}$ . Характеристики уравнений этого вида в разрезе возрастных групп и бонитетов приведены в табл. 1. Хорошие результаты дает также выравнивание кривой высот по уравнению парабол.

Были вычислены отклонения расчетных значений от фактических в процентах (табл. 2).

Таблица 2

Распределение отклонений расчетных значений высоты от фактических для культур сосны III бонитета в возрасте 10—20 лет

Величина отклонения, %	до 3	3,1—6	6,1—9	9,1—12	12,1—15	15,1—18	18,1—21	21,1—25	Больше 25
Число случаев, %	20,6	23,1	20,8	11,9	6,8	5,6	4,0	3,8	3,4

Работами Шиффеля (1899—1908), Мааса (1911), М. Е. Ткаченко [7] и других была показана зависимость видового числа от второго коэффициента формы и высоты. Для аналитического выражения этих зависимостей предложен ряд формул. Наиболее употребительны уравнения типа гипербол, либо степенная функция, а также линейные связи между  $f$  и  $q_2$  [3, 5, 6, 8]. В молодняках, как показали работы последних лет [1, 4], существенно влияет диаметр. Для установления взаимосвязей видового числа и других таксационных показателей было проанализировано 130 уравнений регрессии.

Как показали исследования, линейная зависимость  $f$  от  $q_2$  надежно проявляется лишь при достижении древостоем высоты свыше 6 м. При меньшей высоте отношение общей и остаточной дисперсии зависимой переменной  $F = \frac{S^2_y}{S^2_{1y}}$  зачастую близко или меньше 1,5. Это говорит о том, что результаты, предсказанные в данном случае по уравнению регрессии, лишь незначительно точнее, чем предсказание просто сред-

него значения для любых аргументов  $x$  из области их изменения. Поэтому использование линейных зависимостей  $f$  от  $q_2$  в насаждениях с высотой ниже 6 м нецелесообразно.

В силу самой конструкции формула  $f=q_2-c$  не может дать точных результатов, поэтому ее применение возможно лишь для приближенных расчетов. В этом случае для насаждений 25—40 лет применима формула  $f=0,711q_2+0,007$ .

Для выбора лучшего вида зависимости  $f$  от  $H$  был проведен анализ формул (2—5). Оказалось, что лучшие результаты получаются по уравнению (2). Анализ показал, что при равных высотах бонитет не оказывает существенного влияния на величину видового числа. Поэтому в табл. 3 приведены лишь обобщенные уравнения.

При проверке значимости каждого из аргументов в приведенных формулах оказалось, что наиболее значим здесь второй член уравнения, т. е.  $\frac{a_2}{H}$ , поэтому часто употребляемое в практике уравнение

$f=a_1+\frac{a_2}{H}$  может быть использовано и в молодняках. Связь  $f$  с  $H$  можно передать и с помощью формулы (4). Однако она применима лишь до возраста 20—25 лет. Здесь коэффициент множественной корреляции составляет величину 0,69—0,86. В 25—40 лет он равен лишь 0,16—0,53, и в этом возрасте формула (4) не может быть использована.

Изучение зависимости видового числа от высоты и диаметра проводилось по формулам:

$$f=a_1\ln H+a_2\ln D+a_3; \quad (9)$$

$$\ln f=a_1\ln H+a_2\ln D+c, \quad (10)$$

$$\text{где } c=\ln a_3, \text{ т. е. } f=a_3H^a_1D^a_2. \quad (10a)$$

Исследование оценок уравнений (9—10), а также отклонений расчетных значений функции от наблюдаемых величин показало, что в культурах сосны до 20-летнего возраста на изменение видового числа, кроме высоты, существенно влияет диаметр. Причем, чем больше средняя высота насаждения, тем меньшую значимость имеет диаметр для нахождения видового числа; в возрасте насаждения свыше 30—40 лет его влияние практически полностью теряется. В возрасте 5—7 лет частная корреляция  $f-D$  даже несколько выше, чем  $f-H$ , в 10—15 лет она примерно одинакова, составляя от —0,75 до —0,90, а в 25—40 лет корреляция  $f-H$  много выше, чем  $f-D$ . Последняя составляет в возрасте 25—40 лет лишь от —0,19 до —0,51, при этом более высокий коэффициент корреляции присущ здесь насаждениям низших бонитетов. Этим подтверждается вывод И. И. Григальюнаса [1], что при  $N_{ср} \leq 8-10$  м необходимо учитывать диаметр при нахождении связей видового числа. Из рассмотренных уравнений лучшим является логарифмическая кривая (9). Ее параметры и оценки для древостоев 10—20 лет, полученные на материале насаждений I бонитета, приведены в табл. 3.

Для выбора лучшего уравнения, отражающего связь видового числа с высотой и  $a_2$ , были вычислены параметры и оценки для следующих уравнений:

$$f=a_1H+\frac{a_2}{Hq_2}+\frac{a_3}{H^2q_2}+a_4; \quad (11)$$

$$f=a_1\ln H+a_2\ln q_2+a_3; \quad (12)$$

$$\ln f=a_1\ln H+a_2\ln q_2+c, \quad (13)$$

Параметры и оценки уравнений связи между видовым числом и другими таксационными показателями

Уравнение	Возраст, лет	Вид и параметры уравнения	$D^*$	$S^*_{1y}$	$F_1$	$R$	$S^*_{ry}$	$F_r$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$
2	10—20	$f = -0,0308H - \frac{2,4673}{H} + \frac{7,3701}{H^2} + 1,0358$	0,74	0,0033	3,79	0,858	0,27	82	0,065	0,065	0,05
2	25—40	$f = 0,0082H + \frac{5,5444}{H} + \frac{16,2697}{H^2} + 0,0811$	0,55	0,0018	1,66	0,742	0,03	16	0,058	0,059	0,04
9	5—7	$f = 0,1141 \ln H - 0,2020 \ln D + 0,7656$	0,60	0,0013	2,5	0,775	0,02	17	0,41	0,042	0,03
9	10—20	$f = -0,1460 \ln H - 0,1057 \ln D + 1,1249$	0,77	0,0029	4,6	0,835	0,47	160	0,062	0,063	0,05
14	5—7	$f = \frac{0,1794}{Hq_2} + 0,8884q_2^2 - 0,0329$	0,75	0,0036	4,1	0,868	0,11	31	0,065	0,068	0,06
14	10—20	$f = \frac{0,8652}{Hq_2} + 0,6656q_2^2 + 0,0400$	0,76	0,0044	4,2	0,873	0,75	173	0,056	0,067	0,06
14	25—40	$f = \frac{0,6044}{Hq_2} + 0,5621q_2^2 + 0,1688$	0,81	0,0005	5,2	0,900	0,14	277	0,029	0,030	0,02

$$\text{где } c = \ln a_3, \text{ т. е. } f = a_3 H^a q_2^a; \quad (13a)$$

$$f = \frac{a_1}{H q_2} + a_2 q_2^2 + a_3. \quad (14)$$

Все приведенные уравнения дают хорошее совпадение экспериментальных и вычисленных данных. Повышение или снижение тесноты связи  $f$  с  $H$  и  $q_2$  в зависимости от возраста и бонитета нами не обнаружено. Влияние каждого аргумента на зависимую переменную в возрасте от 20 лет примерно одинаково, причем в самом молодом и в возрасте до 10—15 лет влияние высоты даже несколько сильнее. С возраста 20 лет и старше влияние  $q_2$  на  $f$  заметно усиливается, а  $H$  падает ( $r$  по  $q_2$  равен здесь 0,796—0,815, а  $r$  по  $H$  составляет 0,250—0,566). При этом чем выше бонитет, тем эта разница в одном и том же возрасте выражена сильнее.

Поскольку такие параметры для оценки уравнений (11—14), как остаточная дисперсия, отношение общей и остаточной дисперсии, коэффициенты множественной корреляции и детерминации, стандартные ошибки уравнений и т. п., не позволяют в данном случае отдать предпочтение какому-либо типу зависимости, то выбор наилучшей мы произвели, учтя следующие факторы: корреляцию между аргументами уравнения регрессии, внутренние меры определенности и значимости аргументов. В результате учета всех указанных факторов предпочтение следует отдать гиперболическим зависимостям. Из последних лучше других подходит формула Шиффеля (14). Параметры и оценки этой формулы, рассчитанные по материалам III бонитета, приведены в табл. 3.

Для описанных зависимостей видового числа от  $q_2$ ,  $H$ ,  $D$  были вычислены отклонения (в процентах) расчетных значений от опытных данных и сведены в табл. 4, которая наглядно свидетельствует о преимуществе уравнений (9) и (14).

Таблица 4

Распределение отклонений расчетных значений видового числа от фактических для культур сосны III бонитета в возрасте 10—20 лет, % от общего количества наблюдений

Формула	До 3	3,1—6	6,1—9	9,1—12	12,1—15	15,1—18	18,1—21	21,1—25	>25
8	32,4	15,9	20,2	11,1	8,4	4,6	3,7	2,8	0,9
2	23,2	21,3	22,3	14,8	11,1	4,6	0,9	1,8	—
4	14,0	22,8	23,7	16,6	13,2	3,5	4,4	0,9	0,9
14	40,0	24,0	19,5	12,9	0,9	0,9	0,9	—	0,9
9	25,8	23,6	22,7	14,5	6,4	4,4	1,7	0,9	—

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Вид связи между таксационными признаками ( $H$ ,  $D$ ,  $f$  и др.) зависит от возраста древостоя. С возрастом его таксационные показатели изменяются и притом в разных соотношениях, а в связи с этим меняется характер их взаимосвязей. Эти изменения особенно значительны в сосновых древостоях до возраста 40—50 лет. Поэтому, выбирая вид связи при нахождении таксационных признаков, необходимо учитывать возраст древостоя.

2. Связь высоты с диаметром в молодняках хорошо выражается уравнением степенной функции или параболой третьего порядка.

3. Связь видового числа с высотой выражается уравнением гипер-

болы. Ещё устойчивее эта связь с двумя переменными ( $H$  и  $q_2$ ). Для ее отражения наиболее пригоден вид формулы, предложенной Шиффелем. В самом молодом возрасте (до высоты  $\approx 8$  м) на величину видового числа оказывает влияние диаметр, и здесь применимо уравнение логарифмической кривой.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Григалюнас И. И. 1968. Изучение закономерностей таксационного строения и уточнение таксации сосновых молодняков искусственного происхождения в Литовской ССР. Автореф. канд. дисс. Каунас. Дукарский О. М., Закурдаев А. Г. 1971. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ «Минск-22». М. Захаров В. К. 1967. Лесная таксация. М. Моисеев В. С. 1971. Таксация молодняков. Л. Моисеенко Ф. П. 1965. Закономерности в росте, строении и товарности насаждений. Доклад, обобщающий содержание опубликованных работ на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. Киев. Никитин К. Е. 1966. Лиственница на Украине. Киев. Ткаченко М. Е. 1932. Закон объемов древесных стволов и его значения для массовых и сортиментных таблиц. М. Тюрин А. В. 1930. Нормальная производительность сосны, березы, осины и ели. М.—Л.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТПАДА И ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА В СОСНОВЫХ И ЕЛОВЫХ КУЛЬТУРАХ

В. С. МИРОШНИКОВ

(Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова)

Теорией лесной таксации предложен ряд методов определения текущего прироста насаждений. Наиболее достоверные результаты определения текущего прироста могут быть получены по данным многократной таксации древостоев на постоянных пробных площадях, с детальным учетом величины отпада за весь период наблюдения.

Мы хотим ознакомить специалистов лесного хозяйства с результатами 20-летних наблюдений за ходом естественного отпада и текущего прироста в хвойных культурах Негорельского учебно-опытного лесхоза.

Объекты исследования — сосновые и еловые насаждения, одинаковые по условиям местопроизрастания, технике их создания и режиму выращивания.

Культуры созданы в 1900 г. Расстояние в рядах и между рядами  $2 \times 2$  аршина ( $1,42 \times 1,42$  м), что составляет 5000 посадочных мест на 1 га.

В 1950 г. кафедрой лесной таксации и лесоустройства (В. К. Захаров, 1963) было заложено 6 постоянных пробных площадей, на которых проведена тщательная таксация насаждений с нумерацией и картированием всех деревьев. Спустя 5 лет, в 1955, а затем, в 1960 и 1970 гг. заново проводилась таксация с санитарными рубками и учетом срубленной древесины.

Насаждения пробных площадей оцениваются по 1а классу бонитета, тип леса — суборь лещиново-кисличная, тип условий местопроизрастания — суборь влажная ( $C_3$ ), почва дерново-подзолистая, среднеоподзоленная, развивающаяся на супеси легкой песчанистой, подстилаемой песком связным, а ниже моренным суглинком. Напочвенный покров обильный, разнотравный. В подлеске лещина, жимолость обыкновенная, рябина, крушина, бересклет бородавчатый.

Верхние горизонты почвы богаты питательными веществами, высоким содержанием гумуса, значительной суммой поглощенных оснований, нейтральной реакцией среды.