

ноябрь, 1976.—89 с. [7]. Кисилыхов Е. К. Влияние влагосодержания на пределы пламенного горения некоторых лесных горючих материалов // Характеристика процессов горения в лесу.—Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1977.—С. 89—103. [8]. Конев Э. В. Физические основы горения растительных материалов.—Новосибирск: Наука, 1977.—240 с. [9]. Коровин Г. Н. Исследование некоторых параметров низовых лесных пожаров: Дис. ... канд. с.-х. наук.—Л., 1967.—177 с. [10]. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии.—Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1970.—С. 5—58. [11]. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары.—Архангельск: ОГИЗ, 1947.—60 с. [12]. Серебренников П. П., Матренинский В. В. Лесные пожары и борьба с ними.—Л.: Гослестехиздат, 1937.—183 с. [13]. Софронов М. А. Пожары в горах Южной Сибири.—М.: Наука, 1967.—147 с. [14]. Шешуков М. А. Исследование природы лесных пожаров в основных лесных формациях Нижнего Приамурья: Дис. ... канд. с.-х. наук.—Хабаровск, 1970.—204 с. [15]. Show S. B., Kotoke E. I. Cover Type and Fire Control in the National Forests of Northern California // USDA, Dep. Bull.—Washington, D. C. Gov. Print Off.—1929.—N 1495.—36 p.

УДК 630*533

О КАЧЕСТВЕ ОЦЕНОК ПОЛНОТЫ ДРЕВОСТОЯ ПРИ РЕЛАСКОПИЧЕСКОЙ ВЫБОРКЕ*

С. Н. СВАЛОВ

ВНИИЛМ

Метод угловых проб, или реласкопический, разработанный австрийским лесоводом В. Биттерлихом, уже в течение 40 лет применяют при лесоинвентаризации и таксации лесосечного фонда для определения полноты древостоев, однако до сих пор не решен вопрос о качестве ее оценок при реласкопической выборке. Качество выборочных оценок характеризуется следующими статистическими свойствами: несмещенность, состоятельность, достаточность и эффективность. Несмещенной является оценка, не имеющая систематической ошибки. При увеличении числа выборок одинакового объема среднее значение оценки стремится к истинному. Если этого не происходит, то оценка называется смещенной. Оценка состоятельна, если при увеличении объема одной выборки стремится к оцениваемому параметру. Достаточная оценка построена таким образом, что никакие другие не могут дать дополнительной информации об оцениваемом параметре. Эффективные оценки имеют минимальное рассеяние вокруг своего среднего значения при большем числе одинаковых по объему выборок.

Ниже рассмотрены две оценки полноты древостоя при реласкопической выборке — G и \bar{G} . Первую оценку получают на одной круговой реласкопической пробе, подсчитывая с помощью полнотомера или призма число попавших в учет деревьев N и умножая результат на переводной (реласкопический) коэффициент измерительного прибора K :

$$G = KN. \quad (1)$$

Вторую оценку вычисляют по результатам подсчета числа попавших в учет деревьев на n круговых реласкопических пробах:

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i = \frac{K}{n} \sum_{i=1}^n N_i = K\bar{N}, \quad (2)$$

где i — индекс, обозначающий порядковый номер пробы, $i = 1, 2, \dots, n$;

\bar{N} — среднее число попавших в учет деревьев N_i на отдельных пробах.

* В порядке обсуждения.

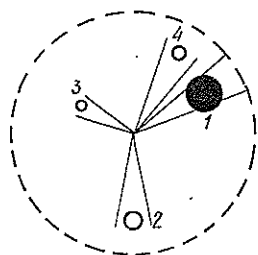


Рис. 1.

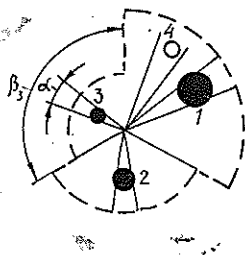


Рис. 2.

Производя картирование деревьев и измерение их диаметров на высоте груди, легко убедиться, что при различной толщине стволов оценка G является смещенной. Рассмотрим простейший случай, когда в реласкопическую выборку попало лишь одно (первое) дерево (рис. 1). Согласно теории Биттерлиха, при переводном коэффициенте $K = 1$, соответствующем углу визирования $\alpha = 1^\circ 10'$, функциональная связь радиуса круговой реласкопической пробы R (м) с диаметром d (см) учтенного дерева на высоте груди имеет вид $R = d/2$. Для других значений K

$$R = d/(2\sqrt{K}). \quad (3)$$

Согласно теории Биттерлиха, одно учтенное дерево на круговой реласкопической пробе при $K = 1$ дает оценку суммы площадей сечений в $1 \text{ м}^2/\text{га}$, а при других значениях переводного коэффициента — в $K \text{ м}^2/\text{га}$. На круговой пробе радиусом $R = d/(2\sqrt{K})$, показанной на рис. 1, в учет попало лишь одно дерево диаметром d . Но на ней произрастают еще три дерева, не попавшие в учет, поскольку их диаметры d_p ($p = 1, 2, 3$) оказались меньше диаметров окружностей, вписанных в угол α визирования полнотомера или преломления призмы. Согласно теории Биттерлиха результат получается одинаковым при учете одного (первого) и четырех деревьев, находящихся на пробе: $G = K \text{ м}^2/\text{га}$. Это объясняется тем, что реласкопический метод дает несмещенные оценки полноты лишь при одинаковых диаметрах деревьев. При разных диаметрах оценка оказывается заниженной, причем отрицательная систематическая ошибка зависит от изменчивости диаметров, значения K , густоты и пространственной структуры древостоев.

Несмещенная оценка полноты древостоев на круговой реласкопической пробе при попадании в учет одного дерева диаметром d равна

$$G_0 = \frac{\frac{\pi}{4} \left(d^2 + \sum_{p=1}^m d_p^2 \right)}{\pi R^2} = K + \frac{K}{d^2} \sum_{p=1}^m d_p^2 = K - \Delta_G = G - \Delta_G, \quad (4)$$

где m — число деревьев на круговой реласкопической пробе, не попавших в учет.

Величина Δ_G характеризует отрицательную систематическую ошибку (смещение) оценки $G = K \text{ м}^2/\text{га}$ при реласкопической выборке одного дерева на пробе.

В реальных условиях в выборку на пробе попадают обычно не одно, а несколько деревьев. На рис. 2 показана круговая реласкопическая проба, на которой учтены первое, второе и третье деревья. Она состоит из трех секторов, радиусы R_j ($j = 1, 2, 3$) которых определяются соотношением (3), а центральные углы β_j равны полусумме углов, образованных лучами визирования на находящееся в этом секторе j -е и ближайšie к нему предыдущее и последующее попавшие в

учет дерева. Границы пробы показаны на рисунке пунктирной линией. Отрицательная систематическая ошибка в оценке полноты древостоя связана с наличием в первом секторе не попавшего в учет четвертого дерева.

Несмещенная оценка полноты древостоя при наличии на круговой реласкопической пробе N учтенных деревьев диаметрами d_j равна

$$G_0 = \frac{\frac{\pi}{4} \sum_{j=1}^N \left(d_j^2 + \sum_{p=1}^{m_j} d_{jp}^2 \right)}{\sum_{j=1}^N S_j} = \frac{K \sum_{j=1}^N \left(d_j^2 + \sum_{p=1}^{m_j} d_{jp}^2 \right)}{\sum_{j=1}^N d_j^2 \beta_j / 350} = \frac{K \sum_{j=1}^N \left(d_j^2 + \sum_{p=1}^{m_j} d_{jp}^2 \right)}{D^2 (1 + r_1 V_1 V_2)}, \quad (5)$$

где d_{jp} — диаметры не попавших в реласкопическую выборку деревьев, находящихся в j -м секторе пробы, $p = 1, 2, \dots, m_j$;

S_j — площадь j -го сектора пробы, $j = 1, 2, \dots, N$;

β_j — центральный угол j -го сектора пробы, град;

D — средний квадратичный диаметр N попавших в учет деревьев;

r_1, V_1, V_2 — соответственно коэффициенты корреляции и вариации (в долях единицы) для значений d_j^2 и β_j .

Значения r_1 , найденные по материалам картирования деревьев и измерения их диаметров в нескольких различных по возрасту и строению насаждениях при разных значениях переводного коэффициента K , недостоверно отличались от нуля при вероятности безошибочного заключения 0,95. Поэтому несмещенная оценка полноты древостоя может быть получена по формуле

$$G_0 = KN + \frac{K}{D^2} \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^{m_j} d_{jp}^2 = KN - \Delta_G = G - \Delta_G. \quad (6)$$

Систематическая ошибка $|\Delta_G|$ возрастает при уменьшении N и K , а также при увеличении изменчивости диаметров деревьев в таксируемом древостое. Поэтому наибольшие отрицательные систематические ошибки в полноте имеют место при таксации разновозрастных низкополнотных древостоев, реди полнотомером или призмой с переводным коэффициентом $K = 1$ и ниже.

Оценка G не является состоятельной, поскольку при увеличении числа учитываемых деревьев на круговой реласкопической пробе за счет снижения переводного коэффициента K отрицательная систематическая ошибка Δ_G не уменьшается, а возрастает. Это доказано на опытном материале в работе [2]. Оценку G нельзя также считать достаточной, поскольку для устранения смещения необходимо располагать дополнительной информацией о величине K , пространственной структуре и строении древостоя по диаметрам. Эффективность оценок полноты древостоя при реласкопической выборке несколько выше, чем при измерении диаметров деревьев на круговых площадках постоянного радиуса. Это связано с тем, что в первом случае отбор производится с вероятностями, пропорциональными размерам (площадям сечений) деревьев, а во втором — с равными.

Рассмотрим оценку \bar{G} , рассчитываемую по формуле (2). Поскольку размеры круговых реласкопических проб неодинаковы, несмещенную оценку полноты находим как средневзвешенную величину:

$$\bar{G}_0 = \left(\sum_{i=1}^n G_{0i} \sum_{j=1}^{N_i} S_{ij} \right) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} S_{ij} \quad (7)$$

Подставляя в эту формулу выражение (5), получаем

$$\bar{G}_0 = \frac{K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} \left(d_{ij}^2 + \sum_{p=1}^{m_j} d_{ijp}^2 \right)}{\sum_{i=1}^n D_i^2 (1 + r_{1i} V_{1i} V_{2i})} \quad (8)$$

Так как для отдельных проб коэффициенты корреляции r_{1i} неизменно отличаются от нуля, то в окончательном виде имеем

$$\begin{aligned} \bar{G}_0 &= K \left(\sum_{i=1}^n D_i^2 N_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{p=1}^{m_j} d_{ijp}^2 \right) / \sum_{i=1}^n D_i^2 = K\bar{N} + \\ &+ K \left(\bar{N} r_2 V_3 V_4 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{p=1}^{m_j} d_{ijp}^2 / \sum_{i=1}^n D_i^2 \right) = K\bar{N} - \Delta_{\bar{G}} = \bar{G} - \Delta_{\bar{G}}, \quad (9) \end{aligned}$$

где r_2 ; V_3 , V_4 — соответственно коэффициенты корреляции и вариации (в долях единицы) для значений D_i^2 и N_i , $i = 1, 2, \dots, n$.

Систематическая ошибка $|\Delta_{\bar{G}}|$ в средней полноте превышает среднюю арифметическую из n отдельных значений $|\Delta_G|$, полученных по формуле (6). Поэтому все отрицательные свойства оценок G в еще большей мере присущи оценке \bar{G} , т. е. она не является несмещенной, состоятельной и достаточной. Качество этой оценки зависит от величины K , густоты, изменчивости диаметров и пространственной структуры древостоя.

Для определения систематических ошибок в полноте на отдельных круговых реласкопических пробах следует применять рассматриваемый выше способ, основанный на картировании и измерении диаметров деревьев. Систематическую ошибку в средней полноте \bar{G} можно определять на основании сплошного перечета деревьев по ступеням толщины в таксируемом древостое или попарно сравнивать оценки полноты древостоя на реласкопических пробах и на круговых площадках постоянного радиуса. Центры этих проб должны быть общими. Для получения достоверных оценок $\Delta_{\bar{G}}$ последним способом требуется значительно большее число реласкопических проб n , чем при картировании деревьев.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление поправок (систематических ошибок, взятых с противоположным знаком) к результатам определения полноты реласкопическим методом. Величина этих поправок зависит от значения суммы площадей сечений, возрастной и пространственной структуры древостоев, а также от переводного коэффициента K измерительного прибора. Полевые исследования точности реласкопического метода, проведенные А. Брукасом и А. Кулешисом [1], показали, что относительные систематические ошибки в полноте при $K = 1$ для разновозрастных многоярусных древостоев превышают 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Брукас А., Кулешис А. Применение угломера при таксации лесов // Лесн. хоз-во.—1985.—№ 12.—С. 37—39. [2]. Solomon D. S. A test of point-sampling in northern hardwoods // USDA For. Serv., Northeastern For. Exp. Stn., Res. Note NE-215, 1975.—P. 2.