

УДК 630\*524,4

С. И. Минкевич, ассистент

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ВЫБОРОЧНОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

Both the algorithm and some results of the statistical analyses of sample forest inventory data are presented in this article.

Комплекс программ обработки материалов выборочной лесоинвентаризации должен обеспечивать формирование выходной информации в виде стандартных форм государственного учета лесов, таксационных показателей древостоев по породам, классам возраста, типам леса, классам бонитета, группам полнот; данных оценки качества лесных культур, естественного возобновления, размера рубок леса, прироста лесов, а также произвольных форм по запросу пользователя [1, 2, 5].

Для разработки клиент-серверных приложений используется интегрированная среда Delphi, для хранения и обработки данных – система управления базами данных СУБД Oracle v.7.3 [1].

Система обработки данных выборочной инвентаризации лесов включает контроль данных таксации на площадках, расчет и статистический анализ таксационных показателей на площадках и в трактах, расчет таксационных показателей для однородных совокупностей древостоев, расчет данных о текущем приросте, о динамике запасов древостоев [1, 2, 3, 4, 5]. Алгоритмы обработки приведены в соответствии с содержанием исходной информации и с известными взаимосвязями между таксационными показателями в древостое.

На основе результатов обработки информации на круговых пробных площадках рассчитываются показатели вариации и точность определения средних таксационных показателей древостоев объекта в разрезе страт и в целом.

Эти показатели при размещении площадок трактами можно рассчитать на основании использования коэффициентов внутригрупповой корреляции площадей и запасов насаждений в трактах. Вторым вариантом предусматривает расчет статистических показателей точности определения средних запасов на 1 га в процессе обработки материалов выборочной лесоинвентаризации леса (за единицу выборки берется тракт). Соответственно, вариацию средних запасов следует рассчитывать как варьирование средних между трактами в объекте (по стратам и в целом для всех страт). По вариации средних и числу трактов определяется точность  $P_M$  [4, 5]. Средние значения запасов на 1 га в трактах (по стратам) определяются, в свою очередь, как среднеарифметические значения этих показателей на площадках.

Мера варьирования репрезентативности, т.е. представленности определенной категории земель как качественных признаков, оценивается формулой для дисперсий доли при размещении площадок трактами [5]. Несмещенная выборочная оценка дисперсии без учета поправки на конечность совокупности в этом случае определяется формулой (1):

$$\sigma_{P_i}^2 = \frac{\sum (K_{\beta,i} - P_i)^2}{K(K-1)}, \quad (1)$$

где  $i$  – индекс категории площади (страты);  $K$  – число трактов в объекте;  $K_{\beta,i}$  – доля числа площадок в  $\beta$  тракте, характеризующих определенную  $i$ -тую категорию площадей;  $P_i$  – доля площади страты в объекте.

Показатель точности ( $P_p$ ) определения площади  $i$ -той страты рассчитывается следующим образом:

$$P_{P_i} = \frac{100}{P_i} \sqrt{\frac{\sum_{\beta} (P_{\beta,i} - P_i)^2}{K(K-1)}} \quad (2)$$

Исходя из объема выборки (8059 площадок постоянного радиуса и реласкопических) и принятой схемы выборки распределение по категориям земель получено с точностью от 0,7% (покрытые лесом площади) до 14,5% (нелесные земли) при уровне достоверности 0,683. Распределение покрытой лесом площади по преобладающим породам получено с точностью от 3,1% (сосняки) до 19,3% (дубравы) и по стратам (по преобладающим породам и классам возраста) – с точностью от 9,3% до 61,7%.

Стратификация объекта выполнена после взятия выборки, т.е. после проведения полевых работ, при обработке материалов выборочной лесоинвентаризации. При этом выделены следующие страты: категория земель – 23 страты; преобладающая порода – 8 страт; преобладающая порода и класс возраста; преобладающая порода и тип леса; преобладающая порода и класс бонитета; группа пород и класс возраста; группа пород и группа возраста – всего 205 страт; преобладающая порода сосна, тип леса – 11 страт; преобладающая порода сосна, класс бонитета – 6 страт; преобладающая порода сосна, класс возраста – 6 страт; преобладающая порода сосна, тип леса и класс возраста; преобладающая порода сосна, класс бонитета и класс возраста; преобладающая порода сосна, средний диаметр и класс возраста; преобладающая порода сосна, относительная полнота и класс возраста.

Средний запас древостоев конкретной страты на 1 га вычисляется по формуле

$$\bar{M} = \sum_{j=1}^{K_h} (M_{hj} \cdot \frac{m_{hj}}{m_h}) / K_h, \quad (3)$$

где  $K_h$  – число трактов, когда, по крайней мере, одна реласкопическая круговая пробная площадь попадает в  $h$ -ю страту;  $m_h$  – среднее число КПП на тракт для  $h$ -й страты;  $m_{hj}$  – число КПП в  $h$ -й страте в  $j$ -м тракте;  $M_{hj}$  – средний запас в  $h$ -й страте в  $j$ -м тракте.

Также вычисляются следующие статистические показатели.

$$\text{Дисперсия } \sigma_M^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{N-1} \quad (4)$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение } \sigma_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{N-1}} \quad (5)$$

$$\text{Основная ошибка средней величины } m_{\bar{M}} = \pm \frac{\sigma_M}{\sqrt{N-1}} \quad (6)$$

$$\text{Коэффициент вариации среднего запаса } v_{\bar{M}} = \frac{100\sigma_{\bar{M}}}{\bar{M}}, \quad (7)$$

$$\text{Показатель точности исследования } P_{\bar{M}} = \frac{100m_{\bar{M}}}{\bar{M}}. \quad (8)$$

$$\text{Средний запас древостоев для объекта в целом } \bar{M} = \left( \sum_{j=1}^K (m_j \cdot \bar{M}_j) / m \right), \quad (9)$$

где  $K$  – общее число трактов в районе;  $m_j$  – число КПП в  $j$ -м тракте;  $\bar{M}_j$  – средний запас лесов в  $j$ -м тракте;  $m$  – общее число КПП в объекте.

Из теории математической статистики известно, что связь между варьированием произведения независимых величин и частным варьированием каждого из сомножителей выражается уравнением вида [10]

$$v_{xy} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \quad (10)$$

Отсюда в нашем случае точность определения общего запаса древостоев в страте рассчитывается по нижеприведенной формуле:

$$\delta_{M_{\phi}} = \sqrt{\delta_{M_{\phi}}^2 + \delta_{P_{V_i}}^2}. \quad (11)$$

Данные расчеты выполняются по результатам обработки площадок постоянного радиуса и реласкопической выборки.

Таблица 1

Статистические показатели запасов древостоев по преобладающим породам

Страта (преобладающая порода)	Общее число площадок, шт.	Средний запас, м <sup>3</sup> /га	Основное отклонение, м <sup>3</sup> /га	Вариация среднего запаса, %	Точность определения среднего запаса, %	Точность определения площади страты, %	Точность определения общего запаса, %
Сосна	4801	284	±109	38,4	1,2	3,1	3,3
Ель	1074	344	±135	39,1	2,6	6,8	7,5
Береза	1017	236	±93	39,1	3,3	7,6	8,1
Дуб	139	238	±88	37,4	6,2	19,3	20,3
Осина	262	300	±119	39,6	6,4	11,9	13,5
Ольха (ч.)	296	248	±112	45,3	5,5	15,5	16,4
Другие породы	63	230	±99	43,0	8,9	20,4	22,2

В результате обработки были рассчитаны средние запасы на 1 га, вариация запасов, среднеквадратические отклонения, статистические показатели по стратам (преобладающая порода, класс возраста). Наибольшая точность оценки запаса была получена в насаждениях, наиболее представленных в Гослесфонде области (сосна, ель, береза) и тем самым в выборке, и наименьшая точность – в насаждениях, наименее представленных в выборке.

Таким образом, для насаждений сосны, ели и березы общий запас древостоев был оценен с точностью соответственно 3,3; 7,5; 8,1%. В отдельных классах возраста

точность оценки запаса не совсем соответствует ценности насаждений; например, для сосняков 2–4-го классов возраста точность колеблется в пределах 2,9–3,7%, а в 5–6-ом классах возраста – 4–10%.

Корреляционная связь между коэффициентами вариации и возрастом выражается уравнениями параболы второго порядка. В среднем для области коэффициент вариации запаса равен 38,7%, что соответствует условиям средней гомогенности древостоев по Н. Grossmann [2]. Рассмотрев данные статистического анализа материалов выборочной лесоинвентаризации, можно сделать вывод, что запас варьирует в зависимости от возраста, условий местопроизрастания и полноты. В сосняках, ельниках, березняках замечается уменьшение варьирования среднего запаса с возрастом до 50–70 лет. Затем коэффициент вариации начинает увеличиваться. Увеличение коэффициента вариации запаса в этих насаждениях в более старом возрасте, видимо, связано с неравномерным истреживанием древостоев за счет применения интенсивных выборочных рубок промежуточного пользования и санитарных рубок. Вследствие этого изменяется распределение древостоев по полнотам, и запас к возрасту спелости уменьшается. Это подтверждают черноольшаники, в наименьшей степени подвергающиеся выборочным рубкам, в которых изменчивость запаса имеет тенденцию уменьшаться.

В хвойных древостоях варьирование средних запасов несколько ниже по сравнению с лиственными древостоями (рисунок).

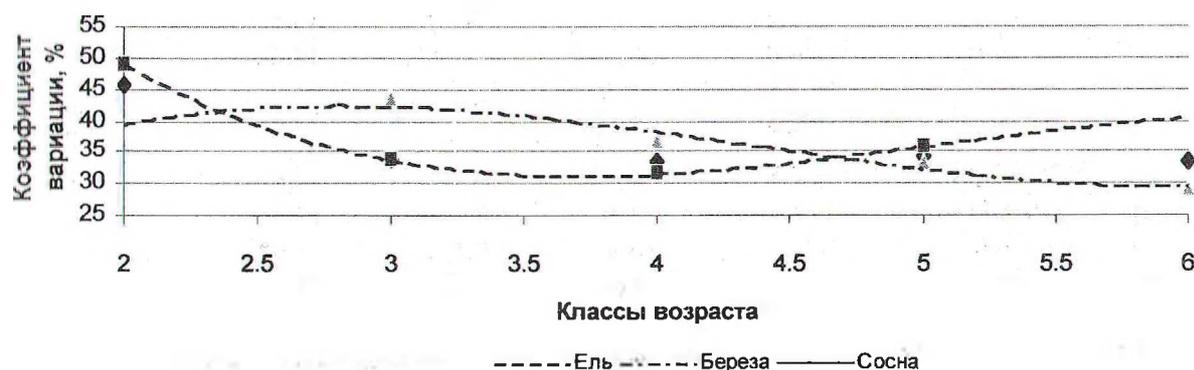


Рис. Динамика коэффициента вариации среднего запаса по классам возраста

Дальнейший анализ коэффициентов вариации средних запасов древостоев на 1 га показал, что их изменения в основном объясняются влиянием двух факторов: размером площадок и величиной среднего запаса древостоев на 1 га в стратах. При таксации сосновых древостоев на реласкопических площадках с применением полнотомера Биттерлиха оказалось, что варьирование запасов ( $V_M$ ) связано со средним диаметром ( $D$ ) и средним запасом ( $M$ ) древостоев на 1 га:

$$V_M = 73,154 - 0,171D - 0,015M. \quad (12)$$

Показатели тесноты связи следующие:  $r_{12} = -0,917$ ;  $r_{13} = -0,951$ ;  $r_{23} = -0,957 \pm 0,033$ . Уравнение (12) дает значения  $V_M$  с ошибкой  $\pm 2,7\%$  при вероятности 0,68.

Статистические данные распределения таксационных показателей сосновых древостоев по классам возраста приведены в табл. 2.

Статистика распределения таксационных показателей сосновых древостоев по классам возраста

Классы возраста	Таксационные показатели	Среднее значение	Средне-квадратиче-ское откло-нение	Ошибка среднего значения	Коэффициент вариации	Процент точности
II	D, см	17,3	±4,8	0,2	36,3	1,0
	H, м	15,0	±3,8	0,1	25,6	0,9
	G, м <sup>2</sup>	27	±10,0	0,3	36,3	1,3
	M, м <sup>3</sup>	215	±98,0	3,4	45,6	1,6
III	D, см	23,5	±4,8	0,1	20,4	0,5
	H, м	20,3	±3,0	0,1	14,7	0,3
	G, м <sup>2</sup>	29	±8,7	0,2	29,7	0,7
	M, м <sup>3</sup>	290	±98,4	2,3	33,9	0,8
IV	D, см	29,2	±5,3	0,2	18,3	0,6
	H, м	23,1	±3,3	0,1	14,1	0,5
	G, м <sup>2</sup>	30	±8,6	0,3	29,0	1,0
	M, м <sup>3</sup>	327	±109,6	3,7	33,5	1,1
V	D, см	33,9	±6,0	0,3	17,8	1,0
	H, м	24,8	±3,6	0,2	14,6	0,8
	G, м <sup>2</sup>	27	±8,1	0,5	29,5	1,7
	M, м <sup>3</sup>	322	±110,0	6,2	34,2	1,9
VI-VII	D, см	38,8	±6,4	0,8	16,6	2,1
	H, м	25,9	±3,4	0,4	13,7	1,7
	G, м <sup>2</sup>	23	±6,3	0,8	26,9	3,4
	M, м <sup>3</sup>	288	±96,0	12,3	33,3	4,3

Варьирование сумм площадей сечений, запасов и ряда других таксационных показателей на круговых пробных площадях изучали многие исследователи [2, 4, 5]. Коэффициент вариации сумм площадей сечений, запаса, а также числа деревьев зависит от полноты, среднего диаметра, возраста, в некоторой степени от породного состава древостоев, величины круговой пробы и хозяйственной деятельности человека [2, 5].

По исследованиям А. Н. Федосимова [4, 5], вариация G одинакова для реласкопических пробных площадок и для пробных площадок постоянного радиуса при одинаковом среднем числе наблюдений на учетной площадке. По изменчивости G определяют вариацию запасов на 1 га в объекте  $V_M$ . По нашим исследованиям, между VG и VM существует тесная связь, которая выявлена при анализе вариации G и M в различных стратах, рассчитанной по данным измерений этих показателей более чем на 4000 площадок. Уравнение связи имеет вид:

$$V_M = 1,2714V_G - 0,3817. \quad (13)$$

при коэффициенте корреляции  $r = \pm 0,953 + 0,009$  и основной ошибке уравнения  $\pm 4,7\%$  при вероятности 0,68.

Коэффициент вариации количества стволов в среднем для республики равен 37,7%. Тенденция вариации количества стволов отдельных пород в зависимости от возраста в основном соответствует подобной вариации запаса. Вариация высот деревьев в 2-сантиметровых ступенях толщины по стратам в 2,7 раза больше, чем в однородных отдельных древостоях (табл. 3).

Таблица 3

## Коэффициенты вариации высоты деревьев

Порода	Ступени толщины, см			
	4-10	12-20	22-30	32-50
Сосна	25-18	17-15	14-12	11-9
Ель	20-16	15-14	13-11	10-9

Зависимость коэффициента вариации высоты ( $V_H$ ) от диаметра ( $D$ ) лучше всего выражается регрессиями вида:

$$\text{для сосны } V_H = 39,175 \cdot D^{-0.3588}, \text{ для ели } V_H = 31,125 \cdot D^{-0.2711}.$$

Используя полученные коэффициенты вариации высоты для оценки средних высот с точностью  $\pm 3-5\%$  при уровне достоверности 0,683 в каждой ступени толщины страты, необходимо измерить примерно 10-15 деревьев. Вариация диаметра и высоты в страте в 1,5-2,0 раза больше, чем в однородных отдельных древостоях.

На основе полученных коэффициентов вариации запаса, высоты и точности по стратам можно планировать повторное проведение выборочной лесоинвентаризации математико-статистическим методом с заранее заданной точностью как в целом по объекту, так и по стратам в отношении учета площадей, запаса, текущего прироста, а также учетных деревьев, используемых при оценке запаса. Необходимо отметить, что интенсивность в отношении учета площадей, запаса и прироста, должна быть различной, это следует принять во внимание при планировании выборочной лесоинвентаризации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О. А., Минкевич С. И., Правосуд И. И. Программа и алгоритм обработки данных выборочной инвентаризации лесов Гродненской области математико-статистическим методом // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн., 2000. Вып. VIII. – С. 139-145.
2. Антанайтис В. В., Репшис И. Н. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 104 с.
3. Толкач И. В. Выборочная инвентаризация лесов Германии // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн., 1999. – Вып. VII. – С. 106-111.
4. Федосимов А. Н., Анисочкин В. Г. Выборочная таксация леса. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 172 с.
5. Федосимов А. Н. Инвентаризация леса выборочными методами. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 192 с.