

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кожевников А. М. Научные основы рубок ухода в лесах Белоруссии: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. – Мн., 1973.
2. Наставление по рубкам ухода в лесах Республики Беларусь. – Мн.: ППГХУСМРБ, 1992.
3. Машковский В. П. Уравнения для определения выхода древесины заданной крупности // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн.: БГТУ, 2000. – Вып. VIII.
4. Севко О. А. Моделирование оптимальной производительности естественных сосновых древостоев в условиях Республики Беларусь: Дис. ... канд. с.-н. наук: 06.03.02. – Мн., 1997.
5. Севко О. А. Программы формирования еловых древостоев рубками ухода // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн.: БГТУ, 1998. – Вып. VI.
6. Севко О. А. Применение программ формирования древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн.: БГТУ, 1999. – Вып. VII.
7. Севко О. А. Имитационное моделирование рубок ухода в березовых древостоях // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн.: БГТУ, 2002. – Вып. X.
8. Севко О. А. Использование имитационной модели сортиментации для размерно-качественной характеристики древесного сырья от рубок ухода древостоев // Труды БГТУ. Серия I. Лесное хозяйство. – Мн.: БГТУ, 2001. – Вып. IX.

УДК 630\*524,4

С. И. Минкевич, ассистент; С. В. Ковалевский, ассистент

#### **АНАЛИЗ ТАКСАЦИОННОГО СТРОЕНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО МАТЕРИАЛАМ ВЫБОРОЧНОЙ ЛЕСОИНВЕНТАРИЗАЦИИ**

A forest inventory method was applied for estimation of forest resources in the area of Hrodna Region Forestry in the western part of Belarus. The forest inventory is based on field measurements only. Some results of statistical analyses of tree distribution of numerous homogeneous stands (so called stratum, post-stratification) on the basis of field measurements data are briefly presented in this article.

Результаты выборочной инвентаризации леса в соответствии с целями ее проведения определяются структурой планируемых на ее основе задач лесного хозяйства. Любая многоцелевая лесоинвентаризация должна обеспечивать получение всесторонних сведений о лесных ресурсах объекта и его частей, характеризующих состояние лесного фонда и его составляющих, включая характеристику насаждений разной производительности, различного породного и возрастного состава, разных категорий не покрытых лесом и нелесных земель.

В рамках выполнения НИР по программе «Лес – экология и ресурсы» сотрудниками кафедры лесоустройства БГТУ совместно со специалистами ЛРУП «Белгослес» разработана технология выборочной инвентаризации лесов для Республики Беларусь, которая позволяет получать ежегодную достоверную статистику о лесных ресурсах; корректировать данные базового и непрерывного лесоустройства; разрабатывать лесотаксационные нормативы и математические модели для лесоустройства, информационных систем и компьютерных технологий в лесном хозяйстве; совершенствовать систему лесного мониторинга; организовать надежную систему контроля за состоянием лесных ресурсов.

При проведении лесоинвентаризации на больших площадях исследователь сталкивается с насаждениями, разнообразными по форме, составу, возрасту, полноте и ус-

ловиям местопроизрастания. С целью определения запаса и их текущего прироста по преобладающим и составляющим породам, классам возраста и классам бонитета проводят типическое расслоение, или так называемую стратификацию лесов, в результате чего получают более однородные группы насаждений (страты). Для более правильной и точной оценки таксационных показателей в целом и по стратам необходимо знать таксационное строение страты как единицы учета. Исследования таксационного строения сложных статистических совокупностей помогают изучить характер распределения деревьев и взаимосвязь между диаметром, высотой, запасом, приростом и другими таксационными показателями.

Столетние исследования по строению однородных и разнородных по составу, возрасту и полноте насаждений показывают, что в древесной растительности проявляется математически определяемая гармония дифференциации деревьев по закону так называемого нормального распределения с сохранением некоторой асимметрии и эксцесса. Первые исследования строения древостоев были осуществлены еще в 1890–1901 годах Вайзе, Вимменауэром, Гуттенбергом, Герхардтом и послужили основой теории строения древостоев. Профессор А. В. Тюрин при изучении закономерностей строения древостоя распределял деревья по ступеням толщины, выраженным в долях от среднего диаметра древостоя. Такие ступени были им названы естественными. Н. В. Третьяков сформулировал закон единства в строении насаждений, согласно которому вся внутренняя структура древостоя подчинена закону нормального распределения и характеризуется положением дерева в ранжированном ряду.

Впервые отклонения в строении древостоев по диаметру от нормального распределения были отмечены Шубергом и Гуттенбергом. В соответствии с исследованиями различных авторов, асимметрия особенно проявляется в древостоях с небольшими значениями средних диаметров древостоев. В работах Г. Продана (1961), Н. П. Анучина (1971), Н. Н. Свалова (1979), О. А. Атрощенко (1985) и других ученых показано, что форма кривой распределения меняется в течение жизни древостоя.

Исходя из литературных источников, можно заключить, что место среднего дерева и характер кривой распределения деревьев по различным таксационным показателям подвержены варьированию в зависимости от возраста, условий произрастания, породного состава, густоты древостоя, интенсивности рубок ухода [1–4].

Анализируя методы изучения строения древостоев, проф. О. А. Атрощенко выделил три направления исследований: 1) определение и анализ редуцированных чисел, т. е. отношения размеров стволов, занимающих определенное место (ранг) в древостое, к среднему значению ранжированного ряда; 2) изучение распределений деревьев по таксационным показателям (распределения по диаметру, высоте, сумме площадей сечений и т. д.); 3) изучение стохастического (вероятностного) процесса перехода деревьев из одного состояния в другое (из растущего в отпад, переход в другую ступень толщины и т. д.). Наибольшее распространение получили первое и второе направления [1].

А. А. Макаренко выделяет два направления в изучении строения древостоев: изучение рядов распределения числа деревьев по таксационным признакам (прежде всего по толщине) и анализ редуцированных чисел [3].

Для целей последующего анализа было произведено типическое расслоение совокупностей насаждений и сформированы выборки (страты) по маске – сосновые древостой мшистого типа леса разных классов возраста (II–V).

При обработке экспериментальных данных на языке программирования VBA (Visual Basic for Application) для прикладной системы Microsoft Excel (офисное про-

граммирование), входящей в пакет Microsoft Office, были написаны программы обработки данных пробных площадей для получения необходимых таксационных показателей, а также для автоматического распределения числа деревьев по основным таксационным показателям в разрезе отдельных страт.

В результате по экспериментальным данным случайной многоступенчатой выборки (данные измерений диаметров и высот деревьев на пробных площадях выборочной лесоинвентаризации) и структуре вычисленного запаса по стратам составлены ряды распределения числа стволов, высоты и запаса в стратах по ступеням толщины (табл. 1, рис. 1, 2).

Таблица 1

## Строение сосновых древостоев по диаметру

Класс возраста	D <sub>ср</sub> , см	Строение по ступеням толщины, см (по числу деревьев, %)													
		4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
II	16,1	1,4	12,4	26,3	26,9	18,2	8,9	3,6	1,3	0,8	0,2	—	—	—	—
III	22,4	—	1,8	8,2	17,8	23,7	21,0	14,1	7,8	3,4	1,5	0,5	0,2	—	—
IV	27,9	—	0,5	2,6	6,1	13,0	19,5	21,8	15,6	11,0	5,4	2,6	1,3	0,5	—
V	33,4	—	—	0,5	1,7	4,3	10,5	17,7	20,1	18,4	12,7	8,2	3,6	1,5	0,9

Таксационное строение модальных сосняков, т. е. распределение числа стволов, высоты и запаса в стратах (статистическая совокупность сосновых древостоев мшистого типа леса III класса возраста) по ступеням толщины, представлено на рис. 1. Таксационное строение модальных сосняков в разрезе классов возраста (по числу деревьев) показано на рис. 2.

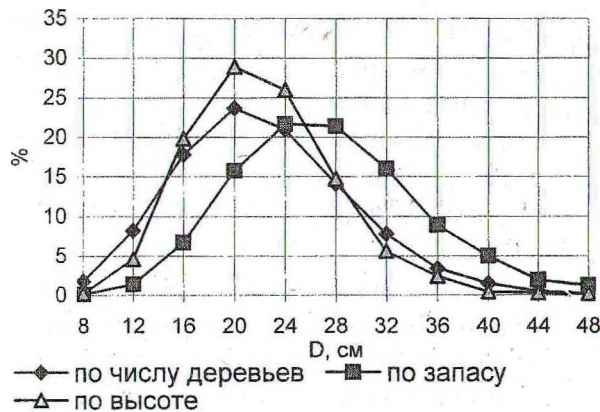


Рис. 1. Таксационное строение модальных сосняков III класса возраста

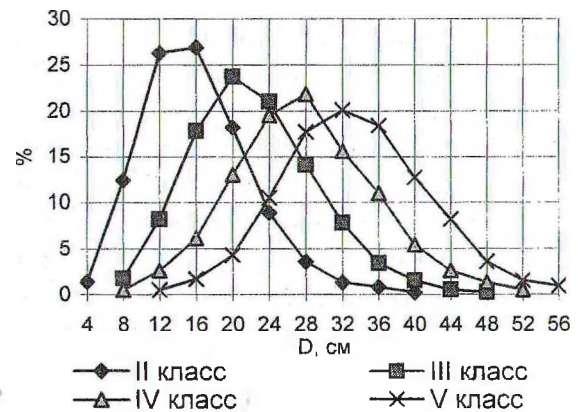


Рис. 2. Таксационное строение модальных сосняков в разрезе классов возраста (II-V)

Статистическая обработка экспериментального материала выполнялась по общепринятым методикам. Результаты статистического анализа таксационного строения выборочных совокупностей приведены в табл. 2.

При изучении таксационного строения лесов наибольший интерес представляет анализ варьирования диаметров стволов. Это объясняется, во-первых, тем, что данный таксационный показатель является важнейшим фактором, определяющим структуру древостоя в целом, его запас, сортиментный состав и т. д. С этим показателем теснейшим образом связаны высота, объем, форма, прирост и многие другие таксационные

показатели дерева. Коэффициент вариации стволов по диаметру в образованных однородных выборках зависит от возраста, так как с возрастом коэффициент вариации уменьшается. Данная закономерность нашла свое отражение в работах различных исследователей (А. В. Тюрин, 1923, В. К. Захаров, 1962, К. Е. Никитин и др.). Необходимо отметить, что коэффициенты изменчивости в данном случае более высокие, чем в отдельных насаждениях. Аналогичные результаты были получены и литовскими исследователями [2].

Таблица 2

**Статистические показатели таксационного строения сосновых древостоев по диаметру (числитель) и высоте (знаменатель)**

Статистические показатели	Класс возраста			
	II	III	IV	V
Средняя величина	16,1 / 14,8	22,4 / 19,4	27,9 / 22,2	33,4 / 24,5
Стандартная ошибка	0,07 / 0,11	0,06 / 0,06	0,09 / 0,09	0,17 / 0,15
Медиана	15,4 / 14,8	21,8 / 19,5	27,5 / 22,2	33,1 / 24,5
Мода	12 / 16,5	20 / 18,5	26,2 / 21,5	31,2 / 23,5
Стандартное отклонение	5,84 / 3,16	6,81 / 2,71	7,72 / 2,61	7,96 / 2,3
Дисперсия	34,1 / 10,0	46,4 / 7,3	59,7 / 6,8	63,4 / 5,3
Вариация, %	36,2 / 21,4	30,4 / 13,9	27,7 / 11,7	23,8 / 9,4
Эксцесс	0,810 / 0,032	0,273 / -0,205	0,094 / 0,651	0,311 / 1,059
Асимметрия	0,775 / 0,003	0,511 / -0,172	0,277 / -0,322	0,262 / -0,194
Число измерений	5882 / 824	14763 / 1953	6556 / 767	2226 / 228

Наряду с коэффициентом вариации и дисперсией важными показателями распределения числа стволов и запаса в страте по диаметру являются показатели эксцесса и асимметрии ряда. Проведенный анализ полученных данных показывает, что величина асимметрии и эксцесса в стратах изменяется в довольно широких пределах. Наибольшего своего значения в сторону положительных отклонений асимметрия достигает при низших средних диаметрах страты с появлением односторонних кривых. В этом случае показатели асимметрии доходят до + 1,5. С увеличением возраста и среднего диаметра соответственно показатели асимметрии доходят до + 0,2 с появлением в дальнейшем даже отрицательной асимметрии. Такое заметное отклонение распределения числа стволов по диаметру в молодняках говорит о большой «заселенности» в низших ступенях толщины.

Величина эксцесса при распределении числа деревьев по диаметру, запасу изменяется в относительно широких пределах (табл. 2), при низших средних диаметрах показатель эксцесса достигает наибольших положительных значений, что свидетельствует о большей «заселенности» ступеней толщины вокруг среднего диаметра. В целом низкововершинные кривые с явно выраженным отрицательным эксцессом не характерны для выделенных страт.

В связи с тем, что в данном случае исследовались древостои различных условий произрастания и разной интенсивности ухода, варьирование показателей асимметрии, эксцесса, стандартного отклонения оказалось достаточно широким, и четкую закономерность в изменении этих параметров найти довольно сложно.

Установление закономерностей распределения деревьев по толщине стволов, выраженной в относительных величинах от среднего дерева насаждения, является необходимым условием при оценке товарной структуры древостоев. В тонкомерных стратах

(II класс возраста, табл. 1) среднее дерево по диаметру отстоит от самого тонкого ствола дальше на 75%, по высоте – дальше на 70 %. В толстомерных стратах (V класс возраста, табл. 1) среднее дерево по диаметру приближается к самому тонкому стволу меньше чем на 65% и по высоте меньше чем на 50%. Пределы статистического ряда с увеличением среднего диаметра уменьшаются – II класс возраста – 0,3–2,5; III, IV и V классы возраста 0,3–2,2; 0,3–2,0; 0,3–1,9 соответственно, т.е. увеличивается число стволов в средних ступенях толщины.

На основе анализа литературных источников можно заключить, что при моделировании строения древостоев по диаметру наиболее часто использовались нормальное, обобщенное нормальное, логарифмически-нормальное, Вейбулла, гамма- и бета-распределения [1–5]. Эти распределения достаточно неплохо описывают полный ранг одновершинных непрерывных распределений.

С помощью статистического пакета SAS на основе отдельного инструментария для работы с большими массивами данных произведен анализ таксационного строения в стратах на основе известных кривых распределений: трехпараметрическое логарифмически-нормальное распределение, Гаусса, Пуассона, Шарлье типа А, кривые Пирсона.

Результаты анализа показывают, что для аппроксимации кривых распределения числа деревьев по классам диаметров (толщины) можно использовать функцию Пуассона. Однако распределение Пуассона совершенно не отображает распределения с левовершинной положительной асимметрией, поэтому, по нашим данным, оно не применимо в молодняках. Кроме этого, так называемый Пуассоновский процесс как математическую модель для лесных объектов нельзя признать универсальным.

В большинстве случаев (выделенные страты – сосновые древостои III–V классов возраста мшистого типа леса) достаточно точно характер распределения числа стволов по диаметру и по высоте (строение страт) подчиняется обобщенному закону нормального распределения Шарлье (кривая типа А):

$$f_A(x) = f(x) - \frac{A}{6} f'''(x) + \frac{E}{24} f^{IV}(x),$$

где  $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$  – функция нормального распределения;  $x$  – отклонение варианта

от среднего значения;  $\sigma$  – основное отклонение ряда;  $\pi$ ,  $l$  – постоянные величины;  $f'''(x)$ ,  $f^{IV}(x)$  – третья и четвертая производные нормального распределения;  $A$  – показатель косости ряда (асимметрия);  $E$  – показатель крутости ряда (экссесса).

При низших средних диаметрах (в сосновых молодняках) с высокой положительной асимметрией строение страт по диаметру лучше отображает кривая Пирсона I типа (бета-распределение).

На основе анализа статистического ряда распределения деревьев в стратах можно заключить, что строение выборочных совокупностей наиболее тесно связано со средним диаметром (классом возраста) и, очевидно, интенсивностью промежуточных рубок (рубки ухода, выборочные санитарные рубки и пр.). Подобная закономерность была отмечена в разные годы различными авторами и для уровня отдельных насаждений. Место среднего дерева и характер кривой распределения деревьев по различным таксационным показателям варьируют в зависимости от возраста, интенсивности промежуточных рубок.

Оценка запаса и его текущего прироста при обработке данных таксации на КПП должна быть построена исходя из модели среднего дерева.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис. ...доктора с.-х. наук: 06.03.02. – Киев, 1985. – 520 с.
2. Антанайтис В. В., Репшис И. Н. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 240 с.
3. Макаренко А. А. Строение древостоев. – Алма-Ата: Кайнар, 1982. – 69 с.
4. Peltola H., Miina J., Rouvinen I. and Kellomaeki S. 2002. Effect of early thinning on the diameter growth distribution along the stem of Scots pine. *Silva Fennica*: 36(4). – P. 813–825.
5. Kilkki P., Maltamo M., Mykkaenen R. and Paivinen R. 1989. Use of the Weibull function in estimating the basal area dbh-distribution. *Silva Fennica* 23 (4). – P. 311–318.

УДК 630\*56

Н. Я. Сидельник, аспирант

### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА ДРЕВОСТОЕВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ

There are described the different methods for assessing of the volume current increment and offered some of them for using in the geoinformation system «Forest resources».

Национальные и глобальные информационные системы, многократно ускоряя и придавая новое качество работе с разносторонними, оперативно пополняемыми данными о разнообразных объектах, способствуют устойчивому развитию многих отраслей экономики, в том числе и лесного хозяйства.

Поэтому в Республике Беларусь с 1992 года под руководством проф. О. А. Атрощенко начала создаваться отечественная специализированная геоинформационная система «Лесные ресурсы», которая в данный момент внедрена во всех лесхозах Комитета лесного хозяйства. Белорусская лесная ГИС имеет широкие возможности ввода, контроля, редактирования и представления различных сведений о лесах и землях лесного фонда. Предназначена для получения любых отчетов по запросам к хранящейся в картографической и атрибутивной базах данных информации, для разработки ежегодных рабочих планов рубок леса, программ лесовосстановления, охраны и защиты лесов, печати планово-картографического материала, ведения лесного кадастра, решения задач сертификации, учета и оценки качества выполняемых мероприятий и т. д. [1].

В условиях интенсивного лесного хозяйства особенно необходимы ГИС при ведении непрерывного лесоустройства, позволяющего в целях повышения результативности управления лесными ресурсами и лесохозяйственной деятельностью постоянно пользоваться современной (актуализированной) информацией о лесном фонде. Прогноз показателей лесных участков во времени, нормирование размера лесопользования, оценка эффективности регулирования породной и возрастной структуры лесов, других воздействий неразрывно связаны с оценкой текущего прироста, поэтому ГИС должна предоставлять возможность получения данных о последнем.

Понятно, что наиболее приемлемы для расчетов на ЭВМ математические модели типа формул. Регрессионные уравнения для актуализации диаметра, высоты, запаса древостоев основных пород уже разработаны проф. О. А. Атрощенко на основании белорусских таблиц хода роста и внедрены в производство, тогда как проблема получе-