

### ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРИРОСТА ПО ЗАПАСУ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО КЛАССАМ БОНИТЕТА В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

The estimation of efficiency of regulation of species and age structure of the forests depend on the estimation of the volume increment. The restriction of the forest harvesting, the estimation of the completed measures and other influences, are indissolubly connected with an estimation of the volume increment. It is possible to receive the operative actualization information on the forest fund, current and average volume increments of the forest stands, forest area and forest enterprise. The grouping of the collected material on natural rows of growth and development and check of the grouped material is executed on homogeneity. As a result of the regression analysis was received the forest mensuration model. Its model is destined for using in the geoinformation system «Forest resources» for assessing of the pine stands volume increment. This model is depending on the pine stand volume and age. The received forest mensuration models were compared to existing tables of growth stands.

**Введение.** Устойчивое развитие лесов Беларуси в значительной степени определяется оптимальным размером лесопользования и рациональным использованием лесных ресурсов. Нормальный лес должен иметь оптимальную породную и возрастную структуру лесов, максимальные прирост, размер лесопользования и доход лесного хозяйства.

Реализация поставленных задач требует информационного обеспечения лесного хозяйства, повышения точности таксации лесов, получения актуализированной, достоверной и надежной информации о состоянии лесного фонда, прироста и производительности лесов, на основе которой возможно принятие оптимальных решений и разработка долгосрочных программ ведения лесного хозяйства, снижение себестоимости лесохозяйственных и лесоустроительных работ и повышения доходов лесного хозяйства. Информация о приросте древостоев обеспечивает контроль за состоянием лесов и продуктивности насаждений при непрерывном и неистощительном лесопользовании.

**Основная часть.** Национальные и глобальные информационные системы, многократно ускоряя и давая новое качество работы с разносторонними, оперативно пополняемыми данными о разнообразных объектах, способствуют устойчивому развитию многих отраслей экономики, в т. ч. и лесного хозяйства.

Поэтому перспективным направлением является получение показателей прироста сосновых древостоев с помощью лесотаксационных моделей в геоинформационной системе (ГИС) «Лесные ресурсы».

Переменные в моделях должны быть основаны на таксационных показателях древостоев, содержащихся в повыведельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы».

Введение в расчеты промежуточного показателя, которого нет в атрибутивной базе данных, ведет к неизбежному появлению и увеличению систематической ошибки.

По данным исследований В. В. Антанайтиса и В. В. Загреева [1] точность оценки прироста увеличивается, если использовать среднюю ширину годичного слоя. Но ее измерений в производственных условиях в Беларуси не выполняется – данного показателя нет в атрибутивной базе данных, поэтому придется согласиться с большей погрешностью модели.

Моделирование прироста леса также в значительной степени зависит от наличия достаточно надежных и полных исходных данных. Сбор этой информации весьма трудоемкий процесс, т. к. банка данных наблюдений на постоянных пробных площадях нет. Поэтому для моделирования и системы принятия решения, могут быть использованы временные пробные площади (выборочная лесоинвентаризация), которые могут обеспечить данными для разработки приемлемых функций роста насаждений, и также снижают субъективизм в математическом моделировании и увеличивает достоверность результатов при статистическом анализе. Это обеспечивает недостижимое при прочих методах сбора первичных данных высочайшую репрезентативность и объективность из-за статистического отбора единиц из генеральной совокупности.

С целью увеличения достоверности о динамике роста и приросте древостоев для анализа были использованы данные выборочной лесоинвентаризации Гродненской области, которые включают большое количество экспериментального материала.

Основными ограничивающими факторами при отборе материалов для целей моделирования взаимосвязей между таксационными показателями и построения лесотаксационных таблиц были: класс бонитета – I<sup>A</sup>, I, II, III, полнота – не менее 0,5.

Для проверки точности и надежности системы моделирования хода роста древостоев выполнялось моделирование хода роста древостоев на постоянных пробных площадях и

сравнение таксационных показателей, полученных в результате моделирования, с показателями, полученными в результате таксации.

В данной работе при создании моделей, которые могут быть использованы в ГИС «Лесные ресурсы» для оценки прироста по запасу сосновых древостоев, определялась принадлежность древостоев к одному естественному ряду развития, т. к. материалы выборочной лесоинвентаризации Гродненской области включают большое количество экспериментального данных.

Основные таблицы хода роста составляются по классам бонитета. Таксационный подход к выбору в качестве критерия гомогенности использует количественные признаки, что позволяет широко применять статистические методы при обработке данных. К этому добавляется еще то, что количество типов леса больше, чем классов бонитета, и поэтому охватить и учесть все типы леса довольно сложно.

Группировка собранного материала по естественным рядам роста и развития и проверка сгруппированного материала на гомогенность выполнялась комбинированным методом, включающим в себя элементы аналитического метода, метода ЛенНИИЛХа и метода Гейера [2].

На примере сосновых древостоев наиболее представленного в Республике Беларусь II класса бонитета показаны результаты по созданию лесотаксационных моделей оценки прироста сосновых древостоев по классам бонитета.

По данным анализа хода роста определялись средние высоты модельных деревьев по интервалам возраста. Затем средние значения высот модельных деревьев сглаживались с помощью методов регрессионного анализа. Лучшие результаты выравнивания высот  $H$  по классам бонитета в зависимости от возраста  $A$  показала функция Странда (коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,96–0,99; критерий Фишера  $F$  18 849–56 886). Для сосновых насаждений II класса бонитета функция имеет следующий вид:

$$H = \left( \frac{A}{4,5840 + 0,2987A} \right)^3;$$

$$R^2 = 0,96; F = 29\,961,7.$$

По полученным уравнениям строились графики, на которых наносились средние значения высот модельных деревьев и сглаженные средние высоты древостоев на постоянных и временных пробных площадях по классам бонитета (рис. 1). Пробные площади, на которых средняя высота отличалась от хода роста по высоте модельных деревьев более чем на 10%, исключались из экспериментального материала.

По данным таксации древостоев на постоянных и временных пробных площадях в соот-

ветствии с методом ЛенНИИЛХа вычислялись линейные уравнения, предложенные профессором Н. В. Третьяковым:

$$AD = aA + b;$$

$$AH = aA + b,$$

где  $D$  – диаметр, см;  $A$  – возраст, лет;  $H$  – высота, м.

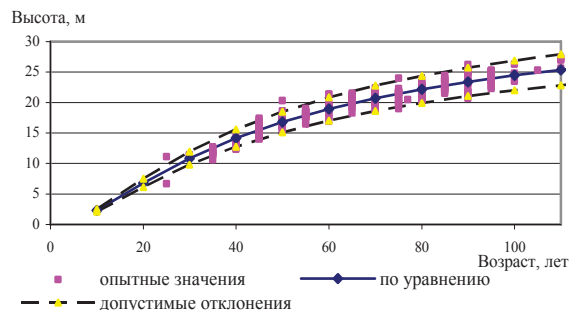


Рис. 1. Зависимость средней высоты древостоев (опытные значения) и сглаженных средних высот модельных деревьев (по уравнению) от возраста древостоя в сосняках II класса бонитета

Для сосновых насаждений II класса бонитета линейные уравнения равны:

$$AD = 42,57A - 1138,9;$$

$$R^2 = 0,931; F = 7289,9;$$

$$AH = 30,363A - 720,882;$$

$$R^2 = 0,985; F = 19\,360.$$

На графиках отображались опытные значения произведений высоты и среднего диаметра на возраст, прямые, рассчитанные по уравнениям линейным уравнениям, и пределы изменчивости диаметров или высот (рис. 2, 3).

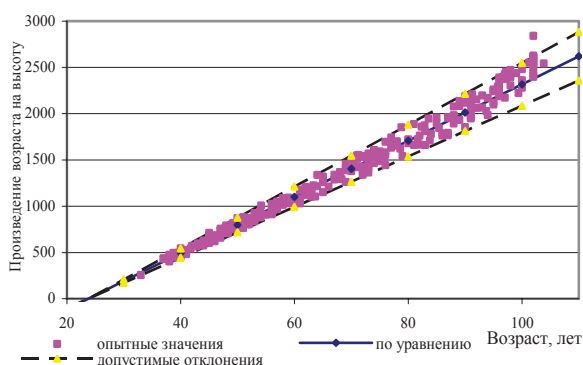


Рис. 2. Зависимость произведения возраста на среднюю высоту древостоев от возраста древостоя в сосновых насаждениях II класса бонитета

Пробные площади, средняя высота которых отличалась от значений, рассчитанных по уравнениям более чем на 10%, а средний диаметр более чем на 15%, исключались из экспериментального материала и в дальнейшей обработке не учитывались. Обрабатывались те древостои,

которые в результате проверки принадлежали одному ряду роста и развития.

Общим правилом для создания модели является наличие наиболее тесных корреляционных связей между функцией и аргументом, менее тесных – между независимыми переменными, причем наиболее надежные соотношения обеспечиваются в случае, когда независимые переменные между собой не коррелированы, а число их сведено к минимуму [3].

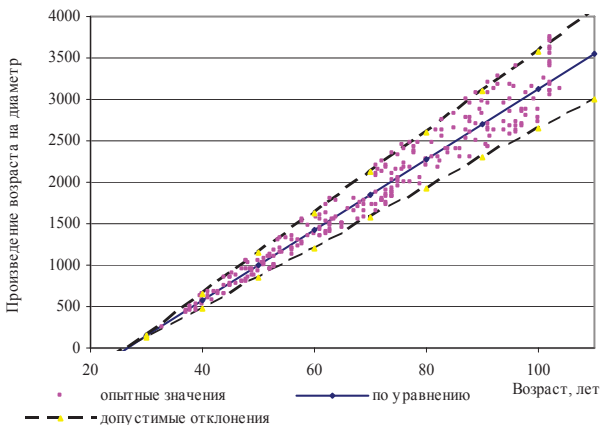


Рис. 3. Зависимость произведения возраста на средний диаметр древостоя от возраста древостоя в основных насаждениях II класса бонитета

Безусловно, одной из переменных должен являться возраст, т. к. он разграничивает процесс роста на интервалы. Остальными переменными становятся показатели роста в пространстве – диаметр, высота и объем [2], а динамика их средних значений – таблицы хода роста. Условия местопроизрастания также оказывает несомненное влияние на продуктивность насаждения, однако непосредственно учесть это воздействие не представляется выполнимым. Поэтому используют типы условий местопроизрастания и т. п.

Связь текущего прироста с другими таксационными показателями изучалась многими исследователями: И. М. Науменко, Ф. П. Моисеенко, А. С. Бабакин, М. Л. Дворецкий, П. В. Воробанов, П. М. Верхунов, П. Якас, О. А. Труль, В. С. Мирошников, В. Е. Ермаков, Н. Н. Свалов, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинский и др. Обширная работа по выявлению закономерных связей текущего прироста с другими таксационными показателями проведена В. В. Антанайтисом и В. В. Загребевым [1].

Для выявления связей между статистиками распределений и таксационными показателями исследуемых древостоев выполнен корреляционный анализ таксационных показателей древостоев и статистик распределений.

Как правило, в своих работах по моделированию прироста древостоев исследователи апробируют не одну модель, а сразу несколько

функций, из которых затем выбирается лучшая. Прирост это, по сути, есть производная от функций роста, детальный анализ которых привел А. К. Кивисте [3].

Финский ученый К. Куусела [4] представил процент текущего прироста по запасу ( $P_M$ ) как функцию запаса  $M$  и возраста  $P_M = f(M, A)$ . Регрессионные уравнения для вычисления процента текущего изменения запаса разработаны профессором О. А. Атрощенко. Исследования литовских ученых подтвердили данную закономерность, однако ими же было указано, что использование радиального прироста значительно повышает точность модели (коэффициент корреляции может достигать 0,99) [5].

В результате аналитического обзора научных исследований других авторов был отобран и проанализирован ряд уравнений взаимосвязи таксационных показателей. Расчет и оценка параметров регрессионных уравнений сделаны на ЭВМ в программе Statistica. Из 7 групп функций роста (по классификации А. К. Кивисте) использовались для регрессионного анализа функции 2–6 групп, это двух-, трех-, четырех- и пятипараметрические функции дробных, степенных, экспоненциальных преобразований, степенно-показательных преобразований и преобразований Митчерлиха. При выборе регрессионных моделей приняты требования:

- модель должна объяснять не менее 80% ( $R^2 > 0,8$ ) вариации зависимой переменной;
- вычисленные значения  $t$ -критерия Стьюдента и  $F$ -критерия Фишера, характеризующего адекватность модели, должны превышать табличные значения на 5%-ном уровне значимости;
- ошибка регрессии не должна превышать 10%;
- важное место уделялось простоте модели, т. е. подбирались модели, имеющие минимальное количество зависимых переменных (которые присутствуют в базе данных ГИС «Лесные ресурсы»).

Для расчета величины текущего прироста был оценен ряд сложных регрессионных уравнений с несколькими переменными ( $R^2 = 0,51–0,96$ ). В результате множественного регрессионного анализа получена модель:

$$Z_M = 10^{b_0} M^{(b_1 + b_2 \lg A)},$$

где  $Z_M$  – показатель прироста, м<sup>3</sup>/га (%);  $M$  – запас древостоя, м<sup>3</sup>/га;  $A$  – возраст древостоя, лет.

Данная модель может быть использована для определения текущего и среднего прироста в абсолютных и относительных величинах для сосновых древостоев I<sup>A</sup>–III класса бонитета.

Результаты регрессионного анализа и параметр уравнений связи для сосновых насаждений II класса бонитета представлены в табл. 1.

Таблица 1  
**Результаты регрессионного анализа и параметры уравнений связи оценки прироста для сосновых насаждений II класса бонитета**

Показатель прироста	Параметры уравнения	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера
$\bar{Z}_M^n$	$b_0$	-1,05 692	0,2 735	-3,86	0,893	482,0
	$b_1$	1,60 638	0,2 094	7,66		
	$b_2$	-0,45 520	0,0 540	-8,41		
$\bar{Z}_M$	$b_0$	-1,18 279	0,1 147	-10,31	0,919	3656,2
	$b_1$	1,24 773	0,0 832	14,99		
	$b_2$	-0,23 635	0,0 200	-11,77		
$P_{\bar{Z}_M^n}$	$b_0$	1,24 836	0,0 412	30,29	0,912	378,4
	$b_1$	0,03 955	0,0 501	0,79		
	$b_2$	-0,27 329	0,0 198	-13,76		
$P_{\bar{Z}_M}$	$b_0$	0,64 118	0,1 110	5,77	0,984	2954,6
	$b_1$	0,95 668	0,1 320	7,25		
	$b_2$	-0,27 329	0,0 198	-13,76		

Добавление лесотаксационных моделей оценки прироста по запасу сосновых древостоев (табл. 2) в стандартную атрибутивную базу данных ГИС «Лесные ресурсы» осуществляется с использованием СУБД (например, MS Access) или воспользоваться специализированными утилитами для работы с таблицами баз данных в формате *paradox* [6].

Полученные лесотаксационные модели сравнивались с существующими таблицами хода роста (ТХР): ход роста сосновых древостоев естественного происхождения (В. С. Мирошников); ход роста сосновых древостоев (Ф. П. Моисеенко, В. Ф. Багинский); ход роста сосновых древостоев с полнотой 0,85 Ф. П. Михневича; динамика продуктивности эталонных сосняков Белоруссии по основным типам леса (В. Е. Ермаков), по ТХР нормальных древостоев, со-

ставленных на основании массовых данных производственной таксации, средний уровень производительности для мшистого типа леса (О. А. Атрощенко) [7, 8].

Наименьшие отклонения наблюдаются как для текущего, так и для среднего прироста при сравнении с таблицами В. С. Мирошников (рис. 4, 5), что возможно объясняется принадлежностью материалов выборочной лесоинвентаризации Гродненской области к тому же Неманско-Предполесскому лесорастительному району.

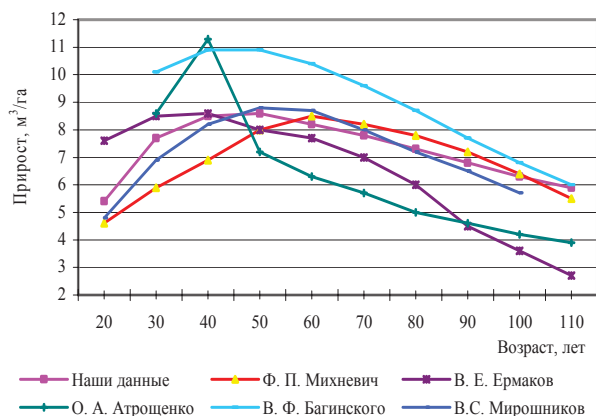


Рис. 4. Динамика текущего прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета различных таблиц хода роста

**Заключение.** Текущий прирост по запасу играет большую роль в нормировании размера лесопользования в лесах Беларуси, поэтому определение величины прироста как в пределах хозяйственной единицы, так и для отдельного древостоя имеет большое практическое значение.

С помощью ГИС «Лесные ресурсы» можно получать оперативную актуализированную информацию о лесном фонде, текущем и среднем приросте древостоев, лесных массивов, насаждений лесничества и лесхоза.

Таблица 2  
**Лесотаксационные модели оценки текущего прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета в ГИС «Лесные ресурсы» (фрагмент), м³/га**

Возраст, лет	Запас растущего древостоя, м³																
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300	350	400	450	500	550
10	2,30	5,37	8,82	12,5	16,5	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	1,53	3,24	5,02	6,87	8,75	10,7	12,6	14,5	16,6	18,6	—	—	—	—	—	—	—
30	1,20	2,41	3,62	4,83	6,04	7,26	8,47	9,69	10,9	12,1	15,2	18,2	—	—	—	—	—
40	1,01	1,95	2,86	3,76	4,65	5,52	6,39	7,25	8,11	8,96	11,1	13,2	15,2	17,3	19,3	21,4	—
50	0,89	1,66	2,39	3,10	3,79	4,47	5,14	5,80	6,45	7,09	8,67	10,2	11,8	13,3	14,7	16,2	17,7
60	0,79	1,45	2,06	2,64	3,21	3,76	4,30	4,82	5,34	5,85	7,10	8,32	9,51	10,7	11,8	12,9	14,1
70	0,73	1,30	1,82	2,31	2,79	3,25	3,69	4,13	4,56	4,98	6,00	6,99	7,95	8,89	9,81	10,7	11,6
80	0,67	1,17	1,63	2,06	2,47	2,86	3,24	3,61	3,97	4,33	5,19	6,01	6,81	7,59	8,35	9,09	9,82
90	0,62	1,08	1,48	1,86	2,22	2,56	2,89	3,21	3,52	3,82	4,56	5,26	5,94	6,60	7,24	7,87	8,48
100	0,59	1,00	1,36	1,70	2,01	2,32	2,61	2,89	3,16	3,42	4,06	4,67	5,26	5,82	6,37	6,91	7,43



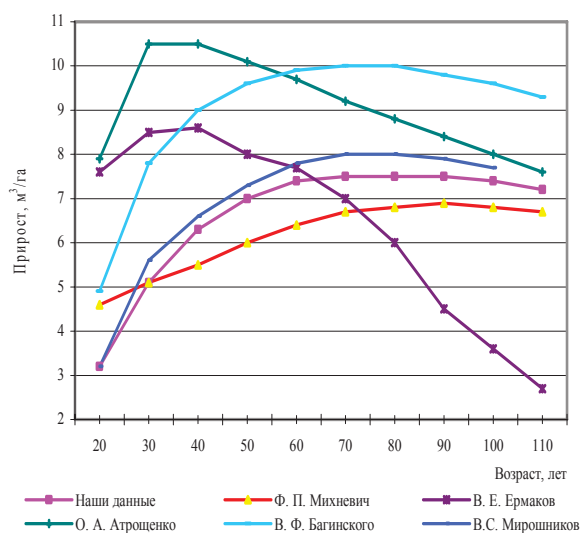


Рис. 5. Динамика среднего прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета различных таблиц хода роста

С текущим приростом неразрывно связаны также оценка эффективности регулирования породной и возрастной структуры лесов, проведенных лесохозяйственных мероприятий, мониторинга лесов и лесных ресурсов, сертификации, устойчивого лесоуправления и лесопользования.

Актуальными задачами являются разработка и лесотаксационных моделей оценки прироста древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» на уровне лесничеств и лесхозов для устойчивого лесоуправления, актуализации лесного фонда и нормирования лесопользования.

Лесотаксационные модели прироста сосновых древостоев могут быть использованы в ГИС «Лесные ресурсы» для повыведельной актуализации лесного фонда, установления потенциальной производительности сосновых древостоев сосновых насаждений для экономической оценки лесных земель и лесного кадастра, устойчивого управления лесами, сертификации лесов и нормирования лесопользования.

## Литература

1. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев // Лесн. пром-сть. – 1981. – 200 с.
2. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 215 с.
3. Кивисте, А. К. Функции роста леса / А. К. Кивисте. – Тарту, 1988. – 108 с.
4. Kuusela, K. A basal area mean tree method in forest inventory / K. Kuusela. – Helsinki, 1966. – 32 p.
5. Антанайтис, В. В. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом / В. В. Антанайтис, И. Н. Репшис. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 104 с.
6. Сидельник, Н. Я. Определение прироста по запасу сосновых древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» / Н. Я. Сидельник // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2008. – Вып. XVI. – С. 93–97.
7. Справочник таксатора / В. Е. Ермаков [и др.]. – Минск, 1980. – 360 с.
8. Багинский, В. Ф. Нормативные материалы для таксации лесов Белорусской ССР / В. Ф. Багинский. – М., 1984. – 308 с.