

Фенологические исследования показывают, что фенофаза набухания вегетативных почек началась 6. IV и закончилась 16. IV, ее длительность составила 10 дней. Многолетние наблюдения, проводимые в ботаническом саду БГТУ, показывают, что длительность этой фазы – 7-35 дней, что является нормальным для условий Республики Беларусь. Начало роста побегов отмечено 20. IV, а окончание 4. VI, продолжительность межфазового периода – 45 дней. Рост побегов, по сравнению с многолетними наблюдениями, закончился на месяц раньше. Начало облиствения побегов отмечено 18. IV, а окончание 11. V, продолжительность межфазового периода составила 23 дня, что является нормальным для условий Республики Беларусь. Начало опробковения побегов отмечено 15. VI, а окончание 18. VIII, длительность межфазового периода – 64 дня. Длительность данной фенофазы на 8 дней меньше, чем в среднем по Беларуси. Обособление на побегах почек началось 21. IV, а опробковение почечных чешуй закончилось 10. VIII, длительность межфазового периода – 111 дней, что является нормальным для условий РБ. Фенофаза осеннего расцветивания листьев началась 15. IX, а закончилась 7. X, длительность фазового периода составила 22 дня. Приблизительно такая же длительность фазового периода отмечена многолетними наблюдениями. Массовый осенний листопад начался 10. X, а окончился 17. XI, длительность этого периода – 38 дней. Многолетние наблюдения показывают, что длительность этого периода составляла от 18 до 49 дней, а продолжительность в среднем по Республике Беларусь 22-64 дня. Начало цветения отмечено 19. V, то есть на 9 дней позже, чем в среднем по стране.

Погодные условия в год наблюдения в целом были благоприятными для роста и развития граба обыкновенного, однако следует отметить, что в период цветения граб подвергся воздействию поздних весенних заморозков. Температура воздуха при заморозках доходила до  $-4...-6$  °С, что повлекло за собой обмерзание соцветий, которые в течение недели осыпались. Молодые листья и побеги при этом практически не пострадали и успешно развивались на протяжении вегетационного периода. Более поздняя форма граба обыкновенного зацвела после заморозков и дала неплохой урожай.

Сравнивая многолетние наблюдения, проведенные в 70-х гг., с наблюдениями 2000 г., можно сделать вывод, что практически все фенологические фазы 2000 г. наступили на несколько дней раньше. Это можно объяснить потеплением климата нашей республики. Так как отклонения незначительные, то данные фенологических исследований, проведенных в 2000 г., можно считать сопоставимыми с полученными в 70-х гг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бульгин Н.Е. Фенотипические наблюдения за древесными растениями. Л.: ЛТА, 1979.

УДК 630\*254.11

С. С. Цай, ассистент

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗУЮЩЕЙ И ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ СОСНЫ

The taper curve and tree volume models for pine tree with their statistic estimation are presented in the article.

Внедрение современной компьютерной техники и компьютерных технологий в отрасль лесного хозяйства невозможно без разработки специализированного программного обеспечения, позволяющего решать различные задачи по обработке лесотаксационной информации. В связи с этим актуальной является разработка лесотаксационных моделей образующей и объемов стволов сосны.

В качестве исходного материала для разработки математических моделей образующих и объемов стволов сосны были выбраны таблицы объема и сбега сосны обыкновенной проф. Д.И. Товстолеса. На их основе был изучен средний относительный сбеги стволов сосны (в коре без коры) по разрядам высот с использованием методик [1]. В качестве базового использовался диаметр на высоте 0,1Н.

Данные относительного сбега по разрядам высот (в коре, без коры) использовались для разработки моделей, отражающих зависимость относительного сбега от относительной длины:

$$Pd_i = f(P_L), \quad (1)$$

где  $Pd_i$  – относительный сбеги ствола на  $i$ -той высоте ствола;  $P_L$  – относительная высота.

Разработка проводилась методом кусочно-полиномиального приближения с использованием кубических полиномов по методике, приведенной в работах [2, 3]. Приняты следующие узловые точки: 5%; 20%; 45%; 80% от длины ствола. Следовательно, для полной аппроксимации одной образующей ствола необходимо 5 полиномов. Для восьми разрядов высот по сосне (отдельно в коре и без коры) было получено 80 подобных зависимостей.

В табл. 1 приведены систематические и среднеквадратические отклонения данных относительного сбега, полученных по математическим моделям, от среднего относительного сбега по разрядам высот. Из табл. 1 видно, что полученные отклонения весьма незначительны: среднеквадратические отклонения по всем разрядам высот находятся в пределах от  $\pm 0,09\%$  до  $\pm 0,40\%$ , систематические от  $-0,05\%$  до  $+0,07\%$ . Максимальные отклонения в обоих случаях наблюдаются в Va разряде высот.

Таблица 1

Отклонения (%) относительного сбега сосновых стволов без коры по математическим моделям от данных таблиц объема и сбега Д.И. Товстолеса

Вид отклонения	Величина отклонения по разрядам высот, %							
	Iб	Iа	I	II	III	IV	V	Va
Систематическое	-0.01	-0.04	-0.03	-0.05	-0.01	+0.06	-0.01	+0.07
Среднеквадратическое	$\pm 0.09$	$\pm 0.13$	$\pm 0.14$	$\pm 0.15$	$\pm 0.11$	$\pm 0.19$	$\pm 0.19$	$\pm 0.40$

Так как в качестве базового использовался диаметр на высоте 0,1Н, а на практике его замерять не всегда удобно, то для перехода от диаметра на высоте груди к диаметру на 0,1Н использовалась связь

$$d_{0,1} = k \cdot (d_{1,3}). \quad (2)$$

Указанная зависимость (2) выражается полиномом второго порядка. Она разрабатывалась отдельно для каждого разряда высот (в коре, без коры) и характеризуется сильной теснотой связи ( $\eta=0,99$ ) (проверка осуществлялась по данным таблиц сбега). Таким образом, необходимо 16 моделей данного типа связи.

В общем виде математическая модель образующей стволов может быть представлена следующим образом:

$$d_i = f(P_L) \cdot f'(d_{1,3}) \cdot 10^{-2}. \quad (3)$$

Таблица 2

Показатели отклонения диаметров сосновых стволов без коры по математическим моделям от диаметров в таблицах объема и сбega Д.И. Товстолеся

Показатели	Высота сечений, м				
	5	11	15	19	23
Iб разряд высот					
Число наблюдений, шт.	8	8	8	8	8
Систематическое отклонение, %	0,0	+0,11	+0,09	-1,22	-1,66
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,46	±1,13	±1,17	±2,86	±5,73
Iа разряд высот					
Число наблюдений, шт.	8	8	8	8	7
Систематическое отклонение, %	-0,55	+0,05	-0,24	-1,74	-0,34
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,85	±0,97	±1,18	±3,98	±3,83
I разряд высот					
Число наблюдений, шт.	8	8	8	8	7
Систематическое отклонение, %	-0,24	-0,31	-1,00	-0,32	+1,60
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,79	±1,11	±1,81	±2,06	±3,36
II разряд высот					
Число наблюдений, шт.	8	8	8	7	
Систематическое отклонение, %	+0,62	+0,05	-0,64	+1,16	
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,94	±1,39	±2,00	±2,83	
III разряд высот					
Число наблюдений, шт.	7	7	7	6	
Систематическое отклонение, %	-0,09	-0,49	-0,53	+0,40	
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,53	±1,17	±3,33	±4,55	
IV разряд высот					
Число наблюдений, шт.	6	6	5		
Систематическое отклонение, %	-0,37	-1,48	-2,24		
Среднеквадратическое отклонение, %	±0,57	±1,92	±3,24		
V разряд высот					
Число наблюдений, шт.	4	4	2		
Систематическое отклонение, %	-1,20	-1,60	+0,70		
Среднеквадратическое отклонение, %	±1,70	±2,32	±0,71		
Va разряд высот					
Число наблюдений, шт.	2				
Систематическое отклонение, %	-3,40				
Среднеквадратическое отклонение, %	±3,45				

Уравнения объемов сосновых стволов по разрядам высот

Разряд высот	Уравнения объема
<b>Сосновые стволы в коре</b>	
ИБ	$V = 406719,239 \cdot (0,00015318625 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,905956 \cdot d_{1,3B/K} + 0,58)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
Ia	$V = 398095,247 \cdot (0,0000733106 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,91998 \cdot d_{1,3B/K} + 0,55)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
I	$V = 392107,903 \cdot (0,00012911437 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,91342 \cdot d_{1,3B/K} + 0,652)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
II	$V = 390263,663 \cdot (0,000349046 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,89564 \cdot d_{1,3B/K} + 0,930)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
III	$V = 394327,922 \cdot (0,000186012 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,918346 \cdot d_{1,3B/K} + 0,967)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
IV	$V = 403945,688 \cdot (0,0002653594 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,9236 \cdot d_{1,3B/K} + 0,946)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
V	$V = 414778,226 \cdot (0,000358496 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,927 \cdot d_{1,3B/K} + 1,213)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
Va	$V = 432413,775 \cdot (0,0013393 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,9018 \cdot d_{1,3B/K} + 1,348)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
<b>Сосновые стволы без коры</b>	
ИБ	$V = 428001,949 \cdot (0,0008283 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,7802388 \cdot d_{1,3B/K} + 1,156)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
Ia	$V = 420088,175 \cdot (0,0005974265 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,8043 \cdot d_{1,3B/K} + 0,887)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
I	$V = 412886,785 \cdot (0,00074624 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,79261 \cdot d_{1,3B/K} + 1,028)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
II	$V = 412160,183 \cdot (0,000977125 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,783033 \cdot d_{1,3B/K} + 1,188)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
III	$V = 417819,77 \cdot (0,000764833 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,80322 \cdot d_{1,3B/K} + 1,125)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
IV	$V = 431844,219 \cdot (0,00084603 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,80214 \cdot d_{1,3B/K} + 1,253)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
V	$V = 446840,781 \cdot (0,0019007 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,7498 \cdot d_{1,3B/K} + 1,755)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$
Va	$V = 469615,638 \cdot (0,00245536 \cdot d_{1,3B/K}^2 + 0,74375 \cdot d_{1,3B/K} + 1,751)^2 \cdot H \cdot 10^{-10}$

В табл. 2 приводятся отклонения (%) сбега, полученного по математическим моделям, от данных абсолютного сбега таблиц проф. Д.И. Товстолеса. Для анализа выбраны диаметры на высотах 5 м, 11 м, 15 м, 19 м, 23 м. Приведенные систематические и среднеквадратические отклонения в основном характеризуются незначительными величинами. Систематические отклонения по всем разрядам высот находятся в пределах от -1,74% до +1,60% (исключение – IV и Va разряды высот, где отклонения достигают -2,24% и -3,40% соответственно). Среднеквадратические отклонения с увеличением высоты расположения диаметра на стволе имеют тенденцию к возрастанию (от ±1,0% в нижней части до ±5% в верхней части ствола).

Таблица 4

Отклонения (%) объемов сосновых стволов (в коре, без коры) по математическим моделям от данных таблиц объема и сбega Д.И. Товстолеса

Вид отклонения	Разряды высот										Итого
	Iб	Ia	I	II	III	IV	V	Va	Va	Итого	
Систематическое	-0,51	-0,83	+0,24	-0,17	+0,97	+0,20	+1,45	-0,04	+0,09		
	±4,25	±3,61	±2,70	±2,54	±2,81	±1,97	±2,36	±2,18	±2,92		
Среднеквадратическое	+0,24	-0,80	+0,42	+1,08	+0,70	+1,03	-0,78	-0,02	+0,22		
	±3,59	±3,59	±2,73	±3,37	±2,92	±2,48	±4,45	±5,43	±3,45		

Сосновые стволы в коре

Сосновые стволы без коры

Таблица 5

Отклонения (%) запасов сосновых древостоев (в коре, без коры) по математическим моделям от данных таблиц объема и сбega Д.И. Товстолеса

Показатели	Разряды высот										Итого
	Iб	Ia	I	II	III	IV	V	Va	Va	Итого	
Запас по таблицам Д.И. Товстолеса, м3	3033,0	2747,7	2418,4	2212,4	2057,0	1936,1	760,1	203,9	15368,6		
	3035,4	2732,8	2423,9	2209,9	2082,0	1943,4	768,5	201,2	15397,1		
	+0,08	-0,54	+0,23	-0,11	+1,22	+0,38	+1,11	-1,32	+0,19		
Запас по таблицам Д.И. Товстолеса, м3	2665,5	2413,5	2121,2	1941,8	1808,1	1709,5	666,4	178,3	13504,3		
	2647,2	2375,4	2103,1	1941,2	1811,1	1703,5	649,9	171,8	13403,2		
	-0,69	-1,58	-0,85	-0,03	+0,17	-0,35	-2,48	-3,65	-0,75		

Сосновые древостои в коре

Сосновые древостои без коры

На базе полученных моделей образующих стволов сосны были разработаны математические модели объемов стволов сосны (в коре, без коры) по методике [3]. В табл. 3 представлены уравнения этих моделей по разрядам высот.

Проводилось сравнение объемов стволов, полученных по математическим моделям, с данными таблиц объема Д.И. Товстолеса. Полученные среднеквадратические и систематические отклонения (табл. 4) характеризуются незначительными величинами. Для объемов стволов сосны (в коре, без коры) по всем разрядам высот систематические отклонения находятся в пределах от  $-0,83\%$  до  $+1,45\%$ .

Среднеквадратическое отклонение для стволов в коре (по всей породе) составило  $\pm 2,92\%$ , для стволов без коры  $-\pm 3,45\%$  (табл. 4).

На основе таблицы распределения числа стволов по ступеням толщины В.Ф. Багинского [4] был составлен 21 перечень со средними диаметрами 20 см, 28 см и 32 см, т. е. на каждый разряд высот приходилось по три перечета с указанными средними диаметрами (за исключением V и Va).

Для удобства расчетов в каждом таком перечете принималось по 1000 стволов. Высоты стволов по ступеням толщины для каждого перечета брались из таблицы разрядов высот. На этих перечетах определялся запас двумя способами: по таблицам Д.И. Товстолеса и по математическим моделям. Результаты сравнительного анализа приводятся в таблице 5. В среднем по всем перечетам отклонения по объему стволов в коре составили  $+0,19\%$ , без коры  $-0,75\%$ .

Предлагаемые математические модели позволяют производить на ПЭВМ расчеты объемов стволов при любых значениях входных параметров (диаметра и высоты), тогда как в таблице Д.И. Товстолеса объемы приводятся в основном с шагом 4 см по диаметру и по разрядам высот.

Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать разработанные математические модели образующих и объемов стволов сосны для практического применения в лесном хозяйстве, лесоустройстве и лесной промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цай С.С. Сбег стволов ели по относительным высотам // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 1996. – Вып. III. – С. 112-114.
2. Цай С.С. Моделирование образующей и объемов древесных стволов ели // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 1996. – Вып. IV. – С. 92-93.
3. Цай С.С. Разработка лесотаксационных моделей образующей и объемов стволов ели: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Белорусский государственный технологический университет им. С.М. Кирова. – Мн., 2000.
4. Нормативно-справочные материалы для таксации леса Белорусской ССР / Под общ. ред. В.Ф. Багинского. – Минск: ЦБНТИ, 1984. – 308 с.