1. ТАКСАЦИЯ ПРИРОСТА

9.1. Классификация прироста

Прирост деревьев, отдельных древостоев и лесных массивов (совокупности древостоев или насаждений) может быть текущим и средним, абсолютным и относительным [1].

Абсолютный прирост таксационных показателей определяется в соответствующих единицах измерения (сантиметрах, метрах, метрах квадратных и метрах кубических). Различают текущий и средний приросты (табл. 9.1). Текущий прирост представляет собой разность абсолютных значений любого таксационного показателя T_a дерева или древостоя за определенный текущий период времени *n*. Различают годичный текущий прирост Z_T^1, периодический текущий прирост Z_T^n и среднепериодический текущий прирост $\overline{Z_T^n}$ в среднем за период *n* лет. Средний прирост $\overline{Z_T}$ выражает величину среднеарифметического годового прироста дерева или древостоя за весь период роста *a*, лет, до момента таксации.

Таблица 9.1

Классификация абсолютного прироста

Текущий	Средний
годичный $Z_T^1 = T_a - T_{a-1}$; периодический $Z_T^n = T_a - T_{a-n}$; среднепериодический $\overline{Z_T^n} = (T_a - T_{a-n})/n$;	$\overline{Z_T} = \dfrac{T}{a}$

Подобно можно получить прирост дерева по любому таксационному показателю (диаметру, высоте, видовому числу и площади сечения).

При таксации прироста древостоя необходимо учитывать процесс прироста и естественного отпада.

Абсолютный текущий годичный прирост по запасу древостоя:

$$Z_M^1 = M_A - M_{A-1} + M_0^1, \tag{9.1}$$

где M_A – запас растущего древостоя, в м^3, в момент таксации (возрасте *a* лет); M_0^1 – запас деревьев отпада за 1 год, м^3.

Абсолютный текущий периодический прирост по запасу древостоя равен

$$Z_M^n = M_A - M_{A-n} + M_0^n = \Delta_M^n + M_0^n, \tag{9.2}$$

где M_{A-n} – запас растущего древостоя в м^3 *n* лет тому назад; M_0^n – запас деревьев отпада за *n* лет в м^3; Δ_M^n – текущее изменение запаса м^3.

Абсолютный текущий среднепериодический прирост по запасу древостоя:

$$\overline{Z}_M^n = \frac{(M_A - M_{A-n} + M_0^n)}{n}. \qquad (9.3)$$

Абсолютный средний прирост по запасу древостоя:

$$Z_M = \frac{(M_A + \sum M_o)}{A} = \frac{M_{общ}}{A}, \qquad (9.4)$$

где $\sum M_0$ – запаса деревьев отпада за весь период роста (A, лет), м^3; $M_{общ}$ – общая производительность древостоя, м^3.

Относительный прирост по таксационным показателям определяется в процентах и может быть средним текущим. Относительный текущий прирост определяется по правилу простых или сложных процентов. По формуле простых процентов относительный текущий периодический прирост по объему древесного ствола равен:

$$P_{z_V^n} = \frac{Z_V^n}{V_A} 100. \qquad (9.5)$$

По формуле сложных процентов Турского:

$$P_V^n = \frac{200}{n} \frac{(V_A - V_{A-n})}{(V_A + V_{A-n})}. \qquad (9.6)$$

Данные формулы справедливы и для определения прироста по остальным таксационным показателям.

9.2. Соотношение между средним и текущим приростом

В различные периоды жизни дерева величина текущего и среднего приростов по своей абсолютной величине различна, но эти изменения находятся в определенной зависимости. В первый годы жизни дерева объемный прирост незначителен. С увеличением возраста текущий и средний приросты возрастают, достигая максимальной величины в разное время, после чего величина их уменьшается (рис. 9.1). С увеличением возраста деревьев изменяются и их средний и текущий приросты, но в характере этого изменения имеется следующая закономерность. В первые годы жизни дерева как средний, так и текущий приросты одинаковы и очень малы. С увеличением возраста они увеличиваются, достигают максимума, а затем начинают постепенно снижаться. Однако темпы изменения среднего и текущего прироста различны. Текущий прирост увеличивается быстрее, чем средний. Его максимум наступает в более раннем возрасте. Несмотря на то, что текущий прирост начал уже снижаться, он по своей абсолютной величине больше среднего до того момента (возраста), пока кривая среднего прироста не достигнет своей наивысшей точки (максимума). В этой точке кривые приростов пересекаются, т. е. они равны друг другу, после чего средний прирост также начинает снижаться, но остается больше текущего, который уменьшается более интенсивно.

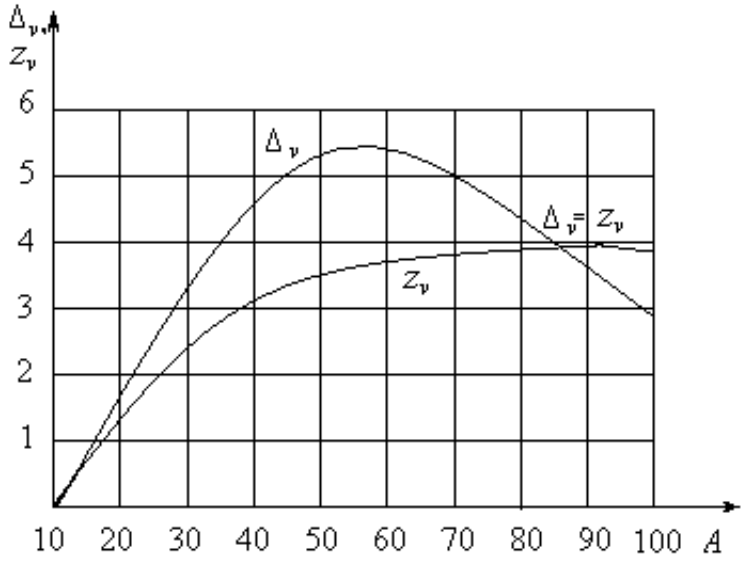

Рис. 9.1. График соотношений между текущим Δ_v и средним Z_v приростами стволов в насаждении

Пересечение кривых Δ_v и z_v соответствует возрасту количественной спелости деревьев и древостоев, что имеет большое значение в практике лесоустройства [1, 6].

9.3. Методы определения прироста срубленных деревьев

При таксации прироста срубленного дерева используют более точные измерения диаметров и длины ствола, способы вычисления объемов стволов по сложным секционным формулам.

Абсолютный текущий периодический прирост по диаметру ствола на высоте 1,3 Z_d^n равен:

$$Z_d^n = d_a - d_{a-n}. \qquad (9.7)$$

где d_a – диаметр ствола без коры, который вычисляется с учетом толщины $T_к$ коры по формуле:

$$d_a = d_{в/к} - 2T_к, \qquad (9.8)$$

где $d_{в/к}$ – диаметр ствола в коре, см; $d_{a\text{-}n}$ – диаметр ствола n лет назад, который определяется путем измерения приростным буравом Пресслера годичного Z_R^n прироста или средней ширины годичного слоя i:

$$d_{a-n} = d_a - Z_d^n = d_a - 2Z_R^n = d_a - 2ni. \qquad (9.9)$$

Для определения средней ширины годичного слоя на стволе (высота 1,3 м) буравом Пресслера берут керн древесины, на котором измеряют ширину n годичных слоев. Средняя ширина годичного слоя вычисляется делением ширины n годичных слоев в милиметрах на период a лет.

Относительный текущий периодический прирост по диаметру ствола Pz_d^n равен:

$$Pz_d^n = \frac{Z_d^n}{d_a} 100. \qquad (9.10)$$

Абсолютный средний прирост по диаметру ствола Z_d:

$$Z_d = \frac{d_a}{a}. \qquad (9.11)$$

Абсолютный текущий периодический прирост по высоте дере-ва Z_h^n:

$$Z_h^n = h_a - h_{a-n}, \qquad (9.12)$$

где h_a – длина (высота) ствола в момент таксации (a, лет), м; h_{a-n} – длина ствола n лет назад, см.

Длину ствола срубленного дерева h_a измеряют металлической рулеткой. Длину ствола n лет назад h_{a-n} у хвойных молодых деревьев определяют по мутовкам. От вершины дерева отсчитывают n мутовок (если n = 5, то отсчитывают 5 мутовок). Длина ствола h_{a-n} измеряется от среза пня до основания n-й мутовки.

Относительный текущий периодический прирост по высоте дерева Pz_h^n равен:

$$Pz_h^n = \frac{Z_h^n}{h_a} 100. \qquad (9.13)$$

Абсолютный средний прирост по высоте ствола Z_h:

$$Z_h = \frac{h_a}{a}. \qquad (9.14)$$

Относительный средний прирост по высоте ствола:

$$P\bar{z}_h^n = \frac{\bar{Z}_h^n}{h_a} 100. \qquad (9.15)$$

Объем ствола срубленного дерева в момент таксации (V_a) и (n) лет назад (V_{a-n}) определяется по сложной секционной формуле (срединного сечения, трех сечений, или по относительным высотам).

9.3.1. Определение прироста по сложной секционной формулы срединных сечений. На стволе обрезают вершинку у основания n мутовок. Остальную длину ствола h_{a-n} размечают на равные двухметровые (или однометровые) секции. Посредине секций измеряют диаметры ствола в коре, берут керн древесины буравом Пресслера, вычисляют диаметры ствола без коры теперь d_a и n лет назад d_{a-n}, соответствующие диаметрам площади сечений γ (рис. 9.2).

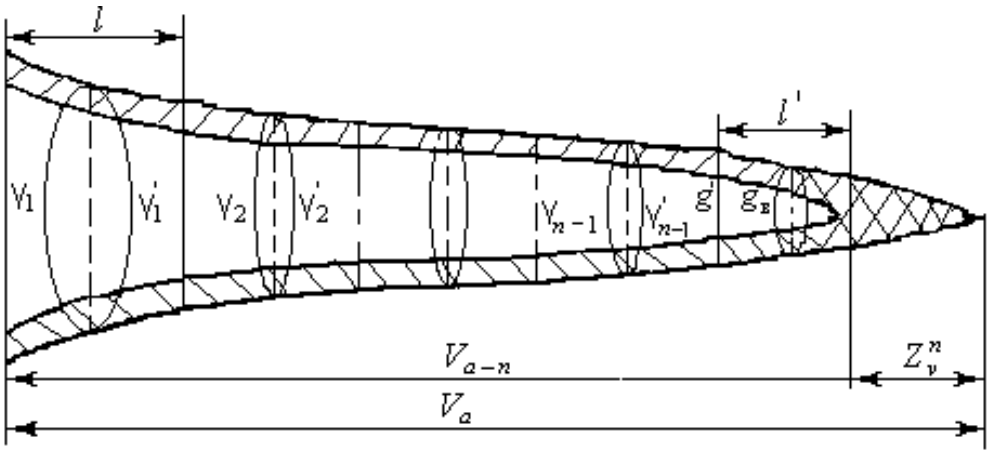

Рис. 9.2. Определение объемного текущего прироста ствола по секционной формуле срединного сечения

Объемы стволов теперь V_a и n лет назад V_{a-n} равны:

$$V_a = l(\gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma_{n-1}) + V_{\text{верш}} ,$$

$$V_{a-n} = l(\gamma_1' + \gamma_2' + \ldots + \gamma_{n-1}') + l' g' .$$

Тогда абсолютный текущий периодический прирост по объему древесного ствола Z_v^n равен:

$$Z_v^n = V_a - V_{a-n} = l(\gamma - \gamma') + l' g' + \frac{1}{3} g_{\text{в}} l_{\text{в}} , \qquad (9.16)$$

где l – длина секции, м; $\gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma_{n-1}$ – сумма площадей сечений без коры на середине секций ствола, м^2; $\gamma_1' + \gamma_2' + \ldots + \gamma_{n-1}'$ – сумма площадей сечений без коры на середине секций ствола n лет назад, м^2; l' – длина последней секции, м; g' – площадь срединного сечения последней секции, м^2; $g_{\text{в}}$ – площадь основания вершинки, м^2; $l_{\text{в}}$ – длина вершинки, м.

Основой существующих методов определения относительного прироста являются соотношения между процентами приростов: по объему P_V, площади сечения P_g и диаметру дерева P_d.

Из формулы объема ствола $V = ghf$ (где g – площадь сечения на высоте 1,3 м; h – высота дерева; f – видовое число) следует, что формирование процента объемного прироста P_V происходит путем сложения процентов прироста перечисленных компонентов объема, т. е. g, h, f:

$$P_V = P_g + P_h + P_f. \qquad (9.17)$$

Особое внимание при этом придается приросту по диаметру благодаря легкости измерения его на стоящем дереве; прирост по высоте и форме hf или остается вне расчета, или учитывается по индивидуальной его величине:

$$P_v = 2P_d + 0{,}7P_h. \qquad (9.18)$$

Наибольшее значение в лесотаксационной практике приобретает соотношение $P_V : P_g : P_d$.

9.3.2. Определение процента текущего прироста по Г. М. Турскому. Формула по коэффициенту пропорциональности k Г. М. Турского имеет вид:

$$P_V = (k + 2)P_d = (k + 2)\frac{200}{n}\frac{d_a - d_{a-n}}{d_a + d_{a-n}}. \qquad (9.19)$$

В табл. 9.2 приведены данные для нахождения k.

Таблица 9.2.

Определение текущего прироста (по Г. М. Турскому)

Прирост				
отсутствует	слабый	умеренный	хороший	очень хороший
$k = 0$	$k = 0{,}4$	$k = 0{,}7$	$k = 1$	$k = 1{,}3$
$k + 2$	$k + 2 = 2{,}4$	$k + 2 = 2{,}7$	$k + 2 = 3$	$k + 2 = 3{,}3$
$p_v = (k + 2)p_d$	$p_v = 2{,}4\ p_d$	$p_v = 2{,}7\ p_d$	$p_v = 3\ p_d$	$p_v = 3{,}3\ p_d$

9.3.3. Определение процента текущего прироста по диаметру и числу годичных слоев (способ Шнейдера). Для деревьев, прекративших свой рост в высоту,

$$P_V = P_g = 2P_d.$$

Выражая Z_d через радиус r, будем иметь

$$P_d = \frac{2Z_r 100}{d_a} = \frac{200Z_r}{d_a}, \qquad (9.20)$$

где Z_r – годичный прирост по радиусу.

Прирост по радиусу Z_r за один год, или ширину годичного слоя, обычно обозначают через i.

Следовательно, последнее равенство можно переписать так:

$$p_v = 2p_d = \frac{400i}{d_a}.$$

Чтобы избежать погрешностей, в формуле по коэффициенту при i придается значение переменной величины K (в зависимости от энергии роста в высоту):

$$p_v = \frac{Ki}{d_a}. \qquad (9.21)$$

Значения коэффициента K приведены в табл. 9.3 в зависимости от протяженности кроны и энергии роста в высоту [22].

Таблица 9.3

Значение коэффициента *K* по формуле Шнейдера

Протяженность кроны	Рост в высоту					
	прекратился	слабый	умеренный	хороший	очень хороший	превосходный
Ниже 1/2 *H*	400	470	530	600	670	730
Межу 1/2 и 3/4 *H*	400	500	570	630	700	77
Выше 3/4 *H*	400	530	600	670	730	800

Для устранения погрешностей от субъективной оценки энергии прироста в высоту М. Л.

Дворецкий предложил следующие придержки для оценки энергии роста в высоту (табл. 9.4).

9.3.4. Определение процента текущего прироста деревьев по относительному диаметру (способ Пресслера). Как уже отмечалось, при отсутствии прироста в высоту о приросте по объему судят на основе прироста по площади сечения или по диаметру.

Таблица 9.4

Придержки для оценки энергии роста по высоте

Порода	Прирост дерева по высоте за 10 лет, м, при энергии роста			
	слабой	умеренной	хорошей	очень хорошей
Светолюбивая I–III бонитета:				
за 10 лет	до 1	1,1–2,9	3–4	4–5
за 1 год	до 0,1	0,11–0,29	0,3–0,4	0,4–0,5
Теневыносливая всех бонитетов и светолюбивая IV–V бонитета:				
за 10 лет	до 0,5	0,5–1,9	2–3	–
за 1 год	до 0,05	0,05–0,19	0,2–0,3	–

Процент прироста по площади сечения p_g можно выразить посредством формулы Пресслера:

$$P_g = \frac{200}{n}\frac{g_a - g_{a-n}}{g_a + g_{a-n}}. \qquad (9.22)$$

Площади сечения относятся как квадраты соответствующих диаметров

$$g_a : g_{a-n} = d_a^2 : d_{a-n}^2.$$

Подставляя полученные значения в формулу Пресслера, имеем

$$P_V = P_g = \frac{200}{n}\frac{d_a - d_{a-n}}{d_a - d_{a-n}}\ . \qquad (9.23)$$

При включении в эту формулу абсолютной величины прироста по диаметру Z_d за определенный период времени (например, за 5 или 10 лет), что вызывается производственными соображениями, вводится новое понятие – относительный диаметр r, который представляет собой отношение диаметра в данный момент d_a к его приросту Z_d за n лет, т. е.

$$r = \frac{d_a}{Z_d}. \qquad (9.24)$$

Эту формулу можно использовать для определения процента прироста как срубленных, так и растущих деревьев с тем лишь различием, что в первом случае величина r устанавливается на половине высоты дерева, которое оно имело n лет назад ($d_{0,5h_a}$); у растущих же деревьев относительный диаметр устанавливается на высоте 1,3 м. По таблице (табл. 9.5) определяют процент прироста по объему.

Таблица 9.5

Определение процента объемного прироста на стволах срубленных деревьев по относительному диаметру

Относительный диаметр	*n*-годичный процент прироста	Относительный диаметр	*n*-годичный процент прироста	Относительный диаметр	*n*-годичный процент прироста	Относительный диаметр	*n*-годичный процент прироста
2,0	120,0	8,0	26,6	23,0	8,9	44,0	4,6
2,2	108,0	8,5	25,0	24,0	8,5	45,0	4,5
2,4	98,4	9,0	23,5	25,0	8,2	46,0	4,4
2,6	90,1	9,5	22,2	26,0	7,8	47,0	4,3
2,8	83,0	10,0	21,0	27,0	7,5	48,0	4,2
3,0	76,9	10,5	20,0	28,0	7,3	49,0	4,1
3,2	71,6	11,0	19,1	29,0	7,0	50,0	4,0
3,4	66,9	11,5	18,2	30,0	6,8	52,0	3,9
3,6	62,9	12,0	17,3	31,0	6,6	54,0	3,8
3,8	59,3	12,5	16,6	32,0	6,4	56,0	3,7
4,0	56,0	13,0	16,0	33,0	6,2	58,0	3,6
4,2	53,1	13,5	15,3	34,0	6,0	60,0	3,4
4,4	50,3	14,0	14,8	35,0	5,8	62,0	3,3
4,6	48,1	15,0	13,8	36,0	5,6	64,0	3,2
4,8	45,9	16,0	12,9	37,0	5,5	68,0	3,0
5,0	43,9	17,1	12,1	38,0	5,3	72,0	2,8
5,5	39,6	18,0	11,4	39,0	5,2	76,0	2,6
6,0	36,1	19,0	10,8	40,0	5,1	80,0	2,5
6,5	33,2	20,0	10,2	41,0	4,9	90,0	2,2
7,0	30,6	21,0	9,8	42,0	4,8	100,0	2,0
7,5	28,4	22,0	9,3	43,0	4,7	110,0	1,8
						120,0,	1,7

9.4. Методы определения прироста растущих деревьев

Для определения процента прироста растущего дерева в связи со сложностью проведения измерений используются два способа: по средней ширине годичного слоя (Шнейдера) и по относительному диаметру растущего дерева (Пресслера). В последнем случае измерение диаметра и взятие керна проводится на высоте 1,3 м. Соответственно, относительный диаметр растущего дерева $r_{\text{раст}}$ вычисляется по формуле

$$r_{\text{раст}} = \frac{d_{1,3}}{Z^{n}_{d_{1,3}}}., \qquad (9.25)$$

В этом случае прирост по диаметру $Z^{n}_{d_{1,3}}$ вычисляется на высоте 1,3 м:

$$Z^{n}_{d_{1,3}} = d_{1,3_a} - d_{1,3_{a-n}}$$

При определении процента прироста по объему у растущего дерева учитывается группа роста дерева по протяженности кроны и энергии роста в высоту (табл. 9.6) [22]. На основании вычисленного относительного диаметра растущего дерева и с учетом его группы роста устанавливается процент прироста по объему.

Таблица 9.6.

Определение группы роста дерева

Протяженность кроны	Рост в высоту		
	слабый	умеренный	хороший
Ниже 1/2 *H*	II	III	IV
Межу 1/2 и 3/4 *H*	II ½	III 1/2	IV 1/2
Выше 3/4 *H*	III	IV	V

9.5. Методы определения прироста древостоя

Текущий прирост по запасу древостоя наиболее надежно оценивается на постоянных пробных площадях при ежегодной таксации древостоев, растущих, сухостойных, вырубленных и отпавших деревьев.

Абсолютный текущий периодический прирост по запасу древостоя Z_M^n равен

$$Z_M^n = M_A - M_{A-n} + M_{\text{о}}^n. \qquad (9.26)$$

Запас растущего древостоя в момент таксации M_A и n лет назад M_{A-n} определяется как сумма объемов растущих деревьев:

$$M_A = \sum V_A;$$

$$M_{A-n} = \sum V_{A-n}.$$

Запас деревьев отпада $M_{\text{о}}^n$ вычисляется как сумма объемов стволов (запас) отпавших (естественный отпад) $M_{\text{отп}}$, сухостойных $M_{\text{с}}$ и вырубленных $M_{\text{в}}$ деревьев за n лет:

$$M_{\text{о}}^n = M_{\text{отп}} + M_{\text{с}} + M_{\text{в}}.$$

На временных пробных площадях, а также при таксации прироста на больших площадях (таксационный выдел, лесной массив) прирост по запасу древостоев определяют в процентах:

$$P_M = \frac{P_1 M_1 + P_2 M_2 + \ldots + P_n M_n}{M}, \qquad (9.27)$$

где P_M – процент текущего прироста по запасу древостоя, %; P_1, P_2, … P_n – процент текущего прироста по объему ствола учетных деревьев по ступеням толщины, %; M_1, M_2, …, M_n – запасы деревьев по ступеням толщины, м^3; M – общий запас древостоя, м^3.

Учетные (растущие) деревья распределяются пропорционально числу деревьев по ступеням или классам толщины.

Процент текущего прироста по объему ствола учетного дерева P_V вычисляется по следующему алгоритму:

$$P_V = \frac{Z_V^n 100}{V_a};$$

$$Z_v^n = V_a - V_{a-n};$$

$$V_a = 0{,}785\, g_a h_a f_a;$$

$$V_{a-n} = 0{,}785 g_{a-n} h_{a-n} f_{a-n}.$$

Видовые числа ствола в момент таксации f_a и n лет назад f_{a-n} определяются по регрессионным моделям связи в зависимости от диаметра d и высоты h дерева по породам [2].

Абсолютный текущий периодический прирост по запасу древостоя вычисляется на основе процента прироста:

$$Z_M^n = \frac{M_A P_M}{100}. \qquad (9.28)$$

При таксации запаса древостоя можно использовать метод средней модели. В древостое на пробной площади выбираются 3–5 средних по диаметру, высоте и форме ствола модельных деревьев. Модели срубают, их объем и прирост определяют по сложной секционной формуле срединных сечений. Тогда запас древостоя равен

$$M_A = \frac{G}{\sum g_M} \sum V_M, \qquad (9.29)$$

где G – сумма площадей сечений древостоя, м^2; $\sum g_M$ – сумма площадей сечения модельных деревьев, м^2; $\sum V_M$ – объем моделей, м^3.

Текущий периодический прирост по запасу древостоев:

$$Z_M^n = \frac{M_A P_M}{100} = \frac{M_A}{100} \frac{\overline{Z}_v^n}{V_A} 100 = \frac{M_A \overline{Z}_v^n}{V_A},$$

где $\overline{Z}_v^n$ – среднее значение текущих приростов по объему ствола модельных деревьев, м^3.

При методе учетных деревьев в древостое выбирается 5–10 учетных (растущих) деревьев, у которых измеряются средняя ширина годичного слоя, диаметр и высота и вычисляется процент текущего прироста P_V по объему ствола. Тогда

$$P_M = \frac{\sum P_V}{n}, \qquad (9.30)$$

где $\sum P_v$ – сумма процентов прироста учетных деревьев; n – число учетных деревьев.

Абсолютный текущий периодический прирост по запасу древостоя вычисляется на основе процента прироста (формула 9.28).