

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*52:630*174.754

В.А. Усольцев, А.В. Усольцев

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральской государственной лесотехнической академии, заведующий лабораторией биологической продуктивности лесов Института леса УрО РАН. Имеет более 160 печатных работ по проблемам оценки биологической продуктивности и структуры фитомассы лесов.



Усольцев Александр Владимирович родился в 1968 г., окончил в 1993 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры лесоводства УГЛТА. Имеет 10 печатных работ в области оценки фитомассы лесов.



РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИТОМАССЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

По данным фитомассы древостоев 100 пробных площадей, заложенных в сосняках Урала и Казахстана, рассчитана рекурсивная система многофакторных регрессионных уравнений. Полученная модель описывает устойчиво-предельную густотную траекторию надземной фитомассы (стволы, ветви, хвоя) сосняков региона, выше которой древостой как лесной биоценоз существовать уже не может.

чистые одновозрастные сосняки, южная подзона тайги, надземная фитомасса, возраст, число стволов, диаметр, высота, логарифмический полином.

На каждом этапе онтоценогенеза древостоя имеется определенный биологический предел густоты, выше которого древостой как лесной биоценоз существовать уже не может [5]. Устойчиво-предельные показатели фитомассы листвы связаны с уровнем ФАР, водным балансом, температурой и влажностью воздуха и почвы, степенью континентальности климата, [12–15] и, следовательно, имеют региональные особенности. В пределах же региона эти показатели определяются морфоструктурой древостоя и могут быть описаны совокупностью массоопределяющих таксационных показате-

лей. В наших работах [7, 8] было показано, что возрастная и ценотическая динамика надземной фитомассы древостоев трех лесообразующих пород может быть адекватно описана четырехфакторными регрессионными моделями, включающими в качестве регрессоров возраст древостоя, класс бонитета, средний диаметр и число деревьев на 1 га. При этом показатели массы листвы образуют линии оптимальной и предельной густот, в то время как показатели массы стволов в статике с увеличением густоты монотонно возрастают. В то же время известно, что в данном возрасте масса стволов с увеличением густоты нарастает лишь до определенного предела, а затем снижается [1, 6]. Чтобы разрешить это противоречие, было предложено включать в регрессионную модель фактор начальной густоты [8], однако практически это трудно реализуемо. Позднее противоречие было разрешено заменой в регрессионных уравнениях класса бонитета средней высотой древостоя, и в итоге на примере березняков были получены линии максимальной фитомассы листвы, скелета кроны и стволов [10].

В настоящей работе предпринята попытка вывести аналитическим путем линии предельных показателей надземной фитомассы чистых одно-возрастных сосняков Урало-Казахстанского региона. Экспериментальный материал получен: в естественных сосняках Зауральской холмисто-предгорной провинции в пределах южной подзоны тайги [2] (Свердловская область, Учебно-опытный лесхоз УГЛТА, 43 пробные площади), в естественных сосняках Казахского мелкосопочника (Кокчетавская область, Бармашинский опытный лесхоз КазНИИЛХа, 7 пробных площадей) и в естественных сосняках и культурах островных боров Тургайского прогиба, представляющего область относительного погружения между Уралом и Казахским мелкосопочником (Кустанайская область, Семиозерный, Басаманский и Аракарагайский лесхозы, 50 пробных площадей). Всего заложено 100 пробных площадей в древостоях 9–115-летнего возраста в диапазоне типов леса от влажных до сухих, на которых по ступеням толщины взято около 900 модельных деревьев. Методика получения и характеристика экспериментальных данных фитомассы изложена ранее [7, 9].

Регрессионная модель предельных (максимальных) показателей фитомассы строится в виде цепочки рекурсивных уравнений [11]. На первом этапе рассчитаны траектории изменения максимальных (для каждой возрастной и густотной группы) значений диаметра D_{\max} и высоты H_{\max} среднего дерева древостоя.

Получены зависимости

$$\ln D_{\max} = -8,4294 + 5,3591 \ln A - 0,6174 \ln^2 A + 1,4414 \ln N - 0,1366 \ln^2 N - 0,3926 \ln A \ln N; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,966; \text{ стандартная ошибка уравнения } SE = 0,099;$$

$$\ln H_{\max} = -5,6927 + 3,2125 \ln A - 0,3422 \ln^2 A + 1,0860 \ln N - 0,0873 \ln^2 N - 0,2255 \ln A \ln N + 0,3998 \ln D; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,963; \text{ } SE = 0,101,$$

где A – возраст древостоя, лет;

N – число стволов на 1 га, тыс. экз.;

D – диаметр ствола среднего дерева древостоя, см;

D_{\max} , H_{\max} – соответственно максимальные значения диаметра, см, и высоты, м, среднего дерева.

Все константы уравнений здесь и далее значимы на уровне t_{05} и выше. Положение траекторий предельных (максимальных) значений D_{\max} и H_{\max} относительно всех экспериментальных данных показано на рис. 1.

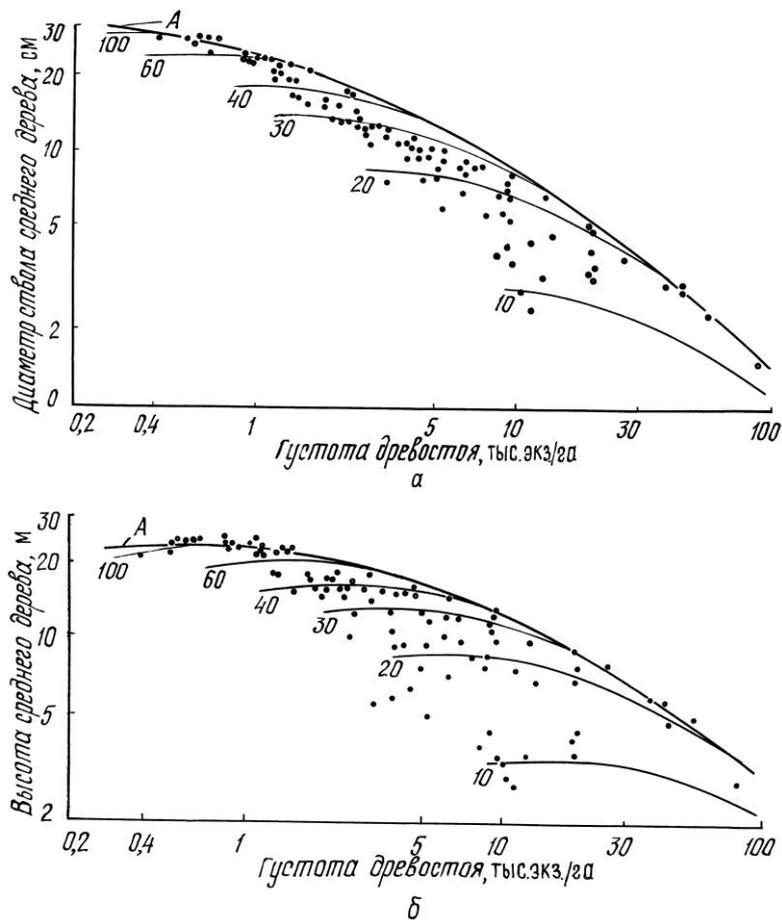
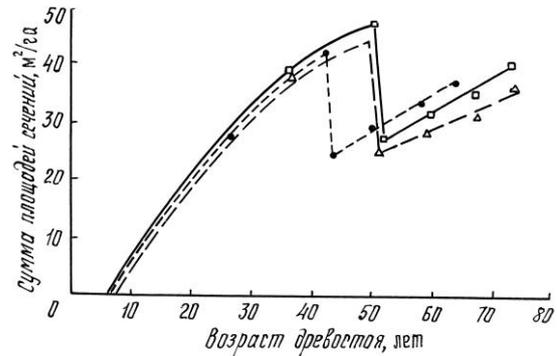


Рис. 1. Положение кривых зависимостей максимальных диаметра (а) и высоты (б) среднего дерева сосняков в возрастах 10, 20, 30, 40, 60 и 100 лет (показаны цифрами), полученных табулированием уравнений (1) и (2) по задаваемым значениям возраста и густоты древостоев, относительно поля распределения всех экспериментальных значений средних диаметров и высот древостоев;
А – линия самоизреживания

Рис. 2. Изменение с возрастом суммы площадей сечений древостоев по данным периодических перечетов на трех постоянных пробных площадях, заложенных в культурах сосны на обыкновенных и солонцеватых черноземах Подгородной лесной дачи Омской области [4]



Однако некоторые экспериментальные точки выходят за линию самоизреживания. Формально это можно объяснить спецификой метода наименьших квадратов, лежащего в основе расчета регрессий, но это можно рассматривать и как свидетельство наличия не линии, а полосы самоизреживания, в которой древостои из-за чрезмерного перегущения не могут находиться в устойчивом состоянии. Срабатывает спровоцированный любым внешним воздействием (засуха, обильный снегопад и т. д.) механизм саморегуляции, в результате чего резко сокращается густота древостоя, и наши «выскакивающие» точки в следующий момент времени смещаются влево, за линию самоизреживания. Подтверждением изложенных соображений служит рис. 2, где изображена возрастная динамика площади сечений древостоя, полученная по данным периодических перечетов на постоянных пробных площадях [4].

На втором этапе на основе содержательного анализа массива экспериментальных данных (100 наблюдений) подобрана структура четырехфакторных регрессионных моделей

$$\begin{aligned} \ln Y = & a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A + a_3 \ln^3 A + a_4 \ln N + a_5 \ln^2 N + a_6 \ln D + a_7 H + \\ & + a_8 \ln H + a_9 \ln^2 A \ln N + a_{10} \ln A \ln N + a_{11} H \ln^2 A + a_{12} H \ln A + \\ & + a_{13} H \ln D + a_{14} \ln A \ln D + a_{15} \ln A \ln H + a_{16} \ln M \ln D, \end{aligned} \quad (3)$$

где Y – запас древостоя M , $\text{м}^3/\text{га}$, или переводной коэффициент P_i/M , $\text{т}/\text{м}^3$, представляющий отношение массы i -й фракции (ствол, скелет кроны, хвоя) в абс. сухом состоянии, $\text{т}/\text{га}$, к запасу стволовой древесины.

Характеристика уравнений (3) и значения их констант приведены в табл. 1.

Табулированием цепочки рекурсивных уравнений в последовательности (1) – (3) получены семейства густотных кривых запасов стволовой древесины и фитомассы сосняков по классам возраста. Правые ветви кривых образуют огибающие (линии самоизреживания), положение которых относительно экспериментальных данных запаса и фитомассы показано

Таблица 1

Показатели	Значения показателей			
	для запаса стволовой древесины, м ³ /га	для переводных коэффициентов P_i/M надземной фитомассы, т/м ³		
		стволов	скелета кроны	хвои
a_0	-11,2506	-1,4247	-0,8097	-0,0122
$a_1 \ln A$	2,3401	-	-	-
$a_2 \ln^2 A$	-0,3601	0,0845	-	-
$a_3 \ln^3 A$	-	-0,0137	-	-
$a_4 \ln N$	0,7567	-	-	-
$a_5 \ln^2 N$	-	-	-0,0620	-
$a_6 \ln D$	-	-	0,9553	3,1481
$a_7 H$	1,0163	-	-	-
$a_8 \ln H$	-	-	-1,1962	-3,6420
$a_9 \ln^2 A \ln N$	-	-	-	-0,0271
$a_{10} \ln A \ln N$	-	0,0261	-	-
$a_{11} H \ln^2 A$	0,0427	-	-	-
$a_{12} H \ln A$	-0,3870	-	-	-
$a_{13} H \ln D$	-0,0323	-	-	-
$a_{14} \ln A \ln D$	0,4445	-	-0,1281	-0,9162
$a_{15} \ln A \ln H$	-	-	-	0,7119
$a_{16} \ln M \ln D$	-	-0,0411	-0,1105	-
R^2	0,983	0,366	0,739	0,921
SE	0,131	0,081	0,212	0,153

Таблица 2

Густота древостоя, тыс. экз./га	D_{\max} , см	H_{\max} , м	M , м ³ /га	Надземная фитомасса в абс. сухом состоянии, т/га			
				стволов	скелета кроны	хвои	итого
1	23,3	22,0	450	170	16,0	6,5	192,5
2	19,0	20,0	475	183	16,9	8,2	208,1
3	16,3	18,5	480	185	16,7	9,2	210,9
5	13,0	16,0	450	174	14,8	9,9	198,7
10	8,8	12,0	360	142	11,0	9,7	162,7
20	5,5	8,5	240	97	7,0	8,8	112,8
35	3,7	6,1	155	64	4,5	7,2	75,7
60	2,4	4,2	95	42	3,0	5,8	50,8
90	1,7	3,1	65	31	2,1	5,1	38,2

на рис. 3. Цифровые значения надземной фитомассы, предельной для задаваемых густот, приведены в табл. 2.

Линии самоизреживания по всем фракциям фитомассы у разных пород существенно различаются как по форме кривых, так и по величине предельных показателей. Сопоставление названных линий для сосны (табл. 2) с аналогичными линиями для березы [11] показывает, что если у березы огибающая изменяется монотонно в процессе самоизреживания, то у

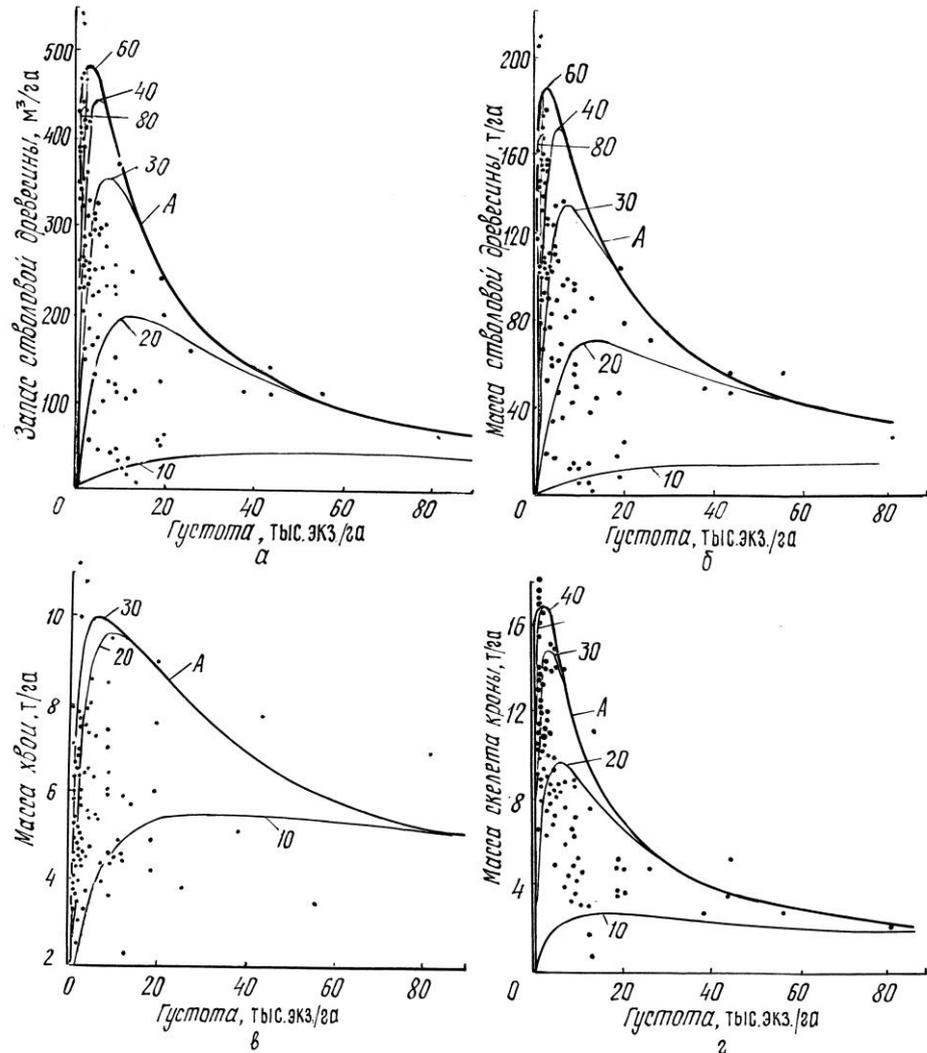


Рис. 3. Колоколообразные густотные кривые запаса ствольной древесины (а), массы стволов (б), массы хвои (в) и массы скелета кроны (г) сосняков в абс. сухом состоянии для различных возрастов (показаны цифрами), полученные последовательным табулированием системы рекурсивных уравнений (1) – (3); А – линии самоизреживания

сосны после непрерывного подъема огибающей на определенном возрастном этапе при соответствующей густоте следует ее снижение. Причем максимальные значения фитомассы разных фракций имеют место при разных густотах и на разных возрастных этапах: по стволам – в возрасте 60 лет при густоте 2–3 тыс. экз./га, по скелету кроны – в 40 лет при той же густоте и по хвое – в 30 лет при густоте 6–7 тыс. экз./га. В диапазоне густот от 35 до 2 тыс. экз./га предельные показатели надземной фитомассы у сосны значи-

тельно выше, чем у березы, и это превышение снижается с густотой от 240 до 140 %.

Таким образом, использование рекурсивной системы регрессионных уравнений позволило описать траектории устойчиво-предельных показателей запаса стволовой древесины и надземной фитомассы сосняков обширного Урало-Казахстанского региона. Приведенные результаты имеют предварительный характер. По мере накопления эмпирического материала они будут уточняться по каждому подрегиону отдельно, поскольку условия роста таежных сосняков Урала и степных сосняков Тургайского прогиба существенно различаются. Например, по количеству среднегодовых осадков различие двукратное. Сосна Казахского мелкосопочника характеризуется, в частности, необычной в сравнении с другими регионами, продолжительностью жизни хвои (до 7-8 лет) возможно, вследствие высокого природного радиационного фона. Пока описание предельных траекторий самоизреживания по показателям фитомассы сосняков для каждого отдельного подрегиона невозможно из-за недостаточного объема экспериментальных данных.

Наши результаты получены с использованием индуктивного метода, по принципу «от эксперимента» и не претендуют на какие-либо теоретические обобщения. По-видимому, следует согласиться с Г.Б. Кофманом [3], что регрессионные модели различной разрешающей способности в теоретическом плане играют вспомогательную роль и практически лишь расчищают плацдарм для будущих теорий и асимптотических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузыкин А.И. Формирование и продуктивность древостоев // Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. – Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1982. – С. 5–7.
2. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.
3. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.
4. Кузьмичев В.В. Эколого-ценотические закономерности роста одновозрастных сосновых древостоев: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1980. – 31 с.
5. Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 191 с.
6. Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 36–52.
7. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с.
8. Усольцев В.А. Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хозяйство в них. – 1994. – Вып. 17. – С. 77–85.
9. Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 217 с.

10. Усольцев В.А., Сальников А.А. Регрессионная модель предельных показателей фитомассы березовых древостоев // Лесн. журн. – 2000. – № 2. – С. 7–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Усольцев В.А., Усольцев А.В. Оценка предельных показателей продуктивности березовых древостоев по исходным данным составляющих их биогрупп // Лесн. журн. – 1996. – № 4–5. – С. 12–21. – (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Blake J., Somers G., Ruark G. Estimating limiting foliar biomass in conifer plantations from allometric relationships and self-thinning behavior // Forest Sci. – 1991. – Vol. 37, N 1. – P. 296–307.
13. Gholz H.L. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest // Ecology. – 1982. – Vol. 63, N 2. – P. 469–481.
14. Jarvis P.G., Leverenz J.W. Productivity of temperate deciduous and evergreen forests // Physiological plant ecology. IV. Ecosystem processes: Mineral cycling, productivity and man's influences / O.L. Lange et al. (eds.). – Berlin: Springer-Verlag, 1983. – P. 233–280.
15. Waring R.H. a. o. Variation in maximum leaf area of coniferous forests in Oregon and its ecological significance / R.H. Waring W.H. Emmingham, H.L. Gholz, C.C. Grier // Forest Sci. – 1978. – Vol. 24, N 1. – P. 131–140.

Уральская государственная лесотехническая академия,
Институт леса УрО РАН

Поступила 26.02.97

V.A.Usoltsev, A.V.Usoltsev

Regression Model of Limiting Phytomass Indices of Pine Stands

Based on the phytomass data of 100 test plots run in the pine stands of the Urals and the Kazakhstan region a recursive system of multifactorial regression equations has been computed. The model obtained provides a description of sustainable-and-limiting thickness trajectory of over-terrain phytomass (stems, branches, needle) for the pine stands in the region, above which the stands can't exist as a forest biocenosis.
