

УДК 630*52

В. А. Усольцев**(Уральская государственная лесотехническая академия)****К. В. Хофманн****(Швейцарский федеральный институт леса,
снега и ландшафта)****З. Я. Нагимов, И. В. Мельникова****(Уральская государственная лесотехническая академия)****ТАБЛИЦЫ ФИТОМАССЫ КРОНЫ
ДЛЯ ОДНОВОЗРАСТНЫХ ЕЛЬНИКОВ ШВЕЙЦАРИИ**

Выполнен краткий анализ методов применения данных лесной фитомассы при построении таблиц, стратегий моделирования динамики фитомассы и стыковки данных фитомассы с таблицами хода роста (ТХР). С использованием опубликованных данных фитомассы модельных деревьев (Burger, 1953) и ТХР для ельников Швейцарии получены регрессионные модели и таблицы фитомассы кроны для одновозрастных насаждений ели. Как дополнение к ТХР, они могут быть использованы в практике лесного хозяйства и экологических программах.

При исследовании биологической продуктивности фитомассы можно выделить два основных традиционных направления: 1) биогеоценотическое (экологическое), связанное с познанием круговорота веществ и энергии в лесном фитоценозе; 2) ресурсоведческое, включающее оценку лесной фитомассы с точки зрения ее утилизации (Поздняков и др., 1969). На планетарном уровне проводятся исследования углеродного цикла в рамках национальных и международных программ по оценке атмосферного антропогенного углерода, связываемого растительным покровом (Kurz et al., 1992; Nabuurs and Mohren, 1993; Kraeuchi, 1993). Поэтому представляет значительный интерес развитие методов оценки ежегодного депонирования углерода в лесной фитомассе, содержащей около 70% наземного углерода (Global..., 1991).

Диапазон этих оценок чрезвычайно широкий. Они варьируют от 1 (Kraeuchi, 1993) до 10 Гт в год (Global..., 1991) на планетарном уровне. Для территории бывшего Советского Союза эти оценки колеблются от 200 до 400 (Исаев и др., 1993, Заварзин, 1992) и даже до 4360 млн т (Kolchugina and Vinson, 1993). Эти разногласия вызваны несовершенством современных методов оценки лесной фитомассы и определения углеродного баланса в наземных экосистемах.

Экономические и технические предпосылки использования всей фитомассы дерева стимулируют исследования энергетического потенциала лесных плантаций (Palz et al., 1981; Hummel et al., 1988) и нарушений минерального круговорота в связи с выносом элементов питания при заготовке (Perttu, 1984; Zingg, 1994). Оценка лесной фитомассы необходима для решения и некоторых иных фундаментальных и прикладных проблем:

- разработки стратегий экологического моделирования, связанных с ростом и изреживанием лесных насаждений (Hozumi, 1977; Kimmins, 1993; Hoffmann, 1994);

- разработки систем лесного экологического мониторинга (IUFRO..., 1992);

- контроля и регулирования численности популяций лесной фауны и трофических цепей (Cooperidge and Behrend, 1980);

- перехода от традиционной наземной таксации леса, основанной на концепции стереометрии ствола, к инвентаризации лесных ресурсов, основанной на методах дистанционного зондирования, используя морфологические и спектральные характеристики лесного полога (Krabill and Maclean, 1984; Nelson et al., 1988);

- оценки акустических свойств лесного полога, взаимодействующего со звуковой энергией путем рассеивания, отражения и преломления звуковых волн (Aylor, 1972; Martens, 1980);

- исследования аэродинамики и ажурности лесных полос в агролесомелиорации (Ковалев, 1975).

Первые публикации по биологической продуктивности насаждений включают данные по запасу фитомассы на 1 га и некоторые таксационные показатели конкретного местообитания. Подобная информация имеет локальный характер и практически неприменима для других местообитаний, которые имеют свой набор таксационных показателей.

По мере накопления данных в литературе предпринимались попытки сравнить фитомассу различных лесных насаждений, а также составить сводки экспериментальных данных фитомассы различных пород в широких возрастном, густотном и типологическом диапазонах (Rodin and Bazilevich, 1967; Уткин, 1970; Поздняков, 1975; Reichle, 1981; Cannell, 1982; Kimmins et al., 1985; Palumets, 1991).

Одновременно проводились исследования по выявлению факторов биологической продуктивности лесных экосистем и была предложена многомерная структура модели для оценки лесной фитомассы в чистых одновозрастных насаждениях березы и осины в Северном Казахстане (Усольцев, 1983). Уравнения имеют вид

$$P_i = f(A, H_{50}, Z), \quad (1)$$

где P_i – фитомасса насаждения i -й фракции (ствола, ветвей, корней или листвы) в абсолютно сухом состоянии, т/га; A – возраст насаждений, лет; H_{50} – класс бонитета, выраженный средней высотой древостоя (м) в 50 лет; Z – относительная густота – число деревьев на га, отнесенное к густоте нормального древостоя.

А. А. Онучин и А. Н. Борисов (1984) предложили для оценки фитомассы в насаждениях сосны уравнение

$$P_i/M = f(A, B, M), \quad (2)$$

где M – запас стволов м³/га, B – порядковый номер класса бонитета. Переменная M , включенная также и в правую часть этого уравнения, отражает такие характеристики насаждения, как полнота, густота и средний диаметр древостоя. Уравнение (2) может быть использовано при инвентаризации надземной фитомассы и может дать приемлемые результаты для оценки общей массы кроны. Но для других компонентов, таких, как хвоя и корни, уравнение непригодно, потому что оно не дает возможности избежать отрицательных значений*. В этой связи в уравнениях для оценки компонентов фитомассы объем ствола (или площадь сечений) лучше заменить двумя показателями – средним диаметром и густотой древостоя. Поэтому была предложена форма регрессионных уравнений (Усольцев, 1988 а, б; Усольцев и др., 1994):

$$P_i/M = f(A, H_{50}, D_{cp}, N), \quad (3)$$

где D_{cp} – средний диаметр, см; N – густота, или число деревьев на 1 га.

Лесная таксация за свою 150-летнюю историю накопила огромный арсенал нормативов для учета запасов стволовой древесины. Сегодня нет ни времени, ни средств для составления подобных нормативов для всех компонентов фитомассы. Мы предлагаем использовать составленные традиционные лесотаксационные таблицы и модели для оценки стволового запаса и стыковать их с данными фитомассы. Основными традиционными нормативами являются таблицы хода роста (ТХР). При этом возникает проблема подбора пробных площадей, таксационная характеристика которых была бы идентичной с пробными площадями, использованными при составлении ТХР.

Имеются, по крайней мере, три подхода к стыковке данных надземной и подземной фитомассы с ТХР.

Первый подход включает в себя использование рекуррентных систем регрессионных уравнений (Amateis et al, 1984; Усольцев, 1985; Borders and Bailey, 1986; Borders, 1989), где зависимая пере-

* См. статью В. А. Усольцева в соавт. в настоящем сборнике.

менная одного из уравнений становится независимой переменной в другом. Была предложена рекуррентная система уравнений (Усольцев, 1988 а, б; Usoltsev, 1989, 1990):

$$\left. \begin{array}{l} \uparrow \left\{ \begin{array}{l} \text{I. } M = f(A, H_{100}, H_{100}, D_{cp}, N) \\ \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} N = f(A, H_{100}, H_{100}) \\ D_{cp} = f(A, H_{100}) \end{array} \right. \\ \uparrow \left\{ \begin{array}{l} D_{cp} = f(A, H_{100}) \\ \text{III. } S = f(A, H_{100}) \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (4)$$

где H_{100} – класс бонитета, выраженный средней высотой древостоя (м) в 100 лет.

Система уравнений (4) была применена для насаждений березы, осины и сосны обыкновенной Северного Казахстана (Усольцев, 1988 б), а также для ели и сосны Среднего Урала (Усольцев и др., 1994), где зависимости II рассчитывались аналитически либо брались из ТХР. Этот подход основывается на предположении, что если насаждения имеют одинаковые средние высоты, возрасты, классы бонитета, средние диаметры, то скорее всего они имеют одинаковые распределения числа стволов как по диаметрам, как и по фитомассе.

Второй подход основан на применении уравнений, полученных на уровне дерева. Он предложен А. А. Макаренко и А. А. Маленко (1984) и требует значительно меньшего объема экспериментальных данных. Уравнение имеет вид

$$p_i = f(H_{50}, D_{cp}, D, H), \quad (5)$$

где p_i – масса i -й фракции фитомассы дерева в абсолютно сухом состоянии (ствол, ветви или листва), кг; H – высота дерева, м; D – диаметр на высоте груди, см. А. А. Макаренко с соавторами (Справочник..., 1980) составили ТХР для древостоев сосны трех регионов Северного Казахстана и описали возрастную динамику распределения диаметров деревьев, а также предложили графики кривых высот. Использование рядов распределения диаметров, а также кривых высот деревьев по ступеням толщины позволило аппроксимировать уравнение (5) по D и H и составить таблицы фитомассы на уровне древостоя. Точность полученных таблиц, по-видимому, не выше, чем при первом подходе, поскольку авторы предполагают, что если два древостоя имеют одно и то же распределение числа деревьев по их диаметру, то они имеют одинаковые распределения деревьев и по фитомассе. Однако это не соответствует действительности (Семечкина, 1978).

Третий подход – использование уравнений на уровне дерева, но без учета распределения деревьев. Естественно, эта оценка является

менее точной, чем оценка по первым двум подходам, и требует минимальных экспериментальных данных по фитомассе. По этому принципу составлены таблицы фитомассы корней для насаждений сосны Северного Казахстана различных классов возраста и эколого-ценотических условий (Усольцев и др., 1985; Usoltsev and Vanclay, 1993):

$$p_i = f(A, D, H), \quad (6)$$

где p_i – масса i -й фракции фитомассы корневой системы дерева в абсолютно сухом состоянии, кг.

Уравнение (6) было модифицировано к виду:

$$p_i = P_i/N = f(A, D_{cp}, H_{cp}) \quad (7)$$

и предложена рекуррентная система уравнений

$$\begin{array}{l} \text{I} \\ \uparrow \\ \text{II} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} P_i/N = f(A, D_{cp}, H_{cp}) \\ N = f(A, H_{100}) \\ D_{cp} = f(A, H_{100}) \\ H_{cp} = f(A, H_{100}) \end{array} \right. \quad (8)$$

где H_{cp} – средняя высота древостоя, м. Уравнения (II) были взяты в табличном выражении из ТХР.

Г. Бургер (Burger, 1953) опубликовал данные по фитомассе для 189 деревьев ели 5...285-летнего возраста, взятых в одновозрастных насаждениях различных экологических и ценотических условий. Эти данные включают высоту дерева, возраст, положение в пологе, но не имеют класса бонитета. К тому же не были опубликованы данные объема ствола. Поэтому нам пришлось использовать второй подход с использованием швейцарских ТХР для одновозрастных ельников (ЕАФV, 1983). По данным названной ТХР было выведено вспомогательное уравнение для расчета класса бонитета по верхней высоте (м) в возрасте 50 лет: $S = f(A, H_{cp})$. Графический анализ соотношения $S = f(H_{cp})$ для разных возрастов показал необходимость включения переменных во второй степени (рис. 1). Уравнение имеет вид

$$\begin{aligned} \ln \rightarrow \ln S = & 3,817 + 0,133(\ln H_{cp})^2 - 0,135(\ln A)^2 - 0,109(\ln A)(\ln H_{cp})^2 + \\ & + 0,292(\ln A)(\ln H_{cp}) - 0,063(\ln A)^2 (\ln H_{cp}) + 0,025(\ln A)^2 (\ln H_{cp})^2, \\ R^2 = & 0,997. \end{aligned} \quad (9)$$

С использованием данных Г. Бургера были рассчитаны уравнения:

$$\ln p_{л} = 8,3255 - 3,1970(\ln A) + 0,6349(\ln A) (\ln D) - 0,0439 S, \quad (10)$$

$$R^2 = 0,923,$$

$$\ln p_v = 6,7855 - 2,3095(\ln A) - 1,0050(\ln D) + 0,6988(\ln A)(\ln D) - 0,0124 S, R^2 = 0,891, \quad (11)$$

где p_l и p_v – соответственно массы сухих листвы и ветвей дерева, кг.

Табулированием уравнений (10) и (11) по ступеням толщины с последующим умножением на числа стволов в каждой ступени, взятые в ТХР, получена табл. 1. Эти табличные данные (см. рис. 2 и 3) аппроксимированы уравнением вида:

$$\ln P_i = a_0 + a_1(\ln A) + a_2(\ln A)^2 + a_3(\ln A)^3 + a_4(\ln S) + a_5(\ln S)^2 + a_6(\ln S)^3 = a_7(\ln A)(\ln S) + a_8(\ln A)(\ln S)^2 + a_9(\ln A)^2(\ln S) + a_{10}(\ln A)^3(\ln S) + a_{11}(\ln A)^3(\ln S)^2 + a_{12}(\ln A)^2(\ln S)^2. \quad (12)$$

Его константы, коэффициенты детерминации R^2 и стандартные ошибки SE приведены в табл. 2. Уравнение применимо в возрастном диапазоне до 120 лет.

Следует отметить, что кривые, описывающие возрастную динамику массы крон на 1 га, в высших классах бонитета имеют два пика, а в низших – только один (рис. 2, 3). Это может быть связано с интенсивным естественным изреживанием высокопродуктивных насаждений в возрасте 20...50 лет, обусловливающим существенное снижение массы крон в этом возрастном диапазоне. Аналогичная седлобразная закономерность изменения массы крон с возрастом древостоя была установлена для сосняков сухой степи Северного Казахстана (Усольцев, 19886; Usoltsev and Vanclay, 1993). В последнем случае это связано с часто повторяющимися засухами в возрасте интенсивного изреживания (20...50 лет), что идентифицируется с критическим периодом для экологической стабильности насаждений.

Табл. 1 и уравнение (12) могут служить основой составления базы данных надземной фитомассы одновозрастных ельников Швейцарии и существенным дополнением к традиционным ТХР. Они могут быть полезны в современном лесном хозяйстве, при развитии системы лесостроительства и при реализации различных экологических программ.

Таблицы можно рассматривать в качестве предварительного варианта. Во-первых, неизвестно, в какой степени данные Г. Бургера, полученные в 20...30-х годах, могут быть применимы в настоящее время. За истекшие 70 лет экологические условия существенно изменились. По данным С. Н. Сеннова (1983), за такое время бонитет насаждений изменяется на два класса. Это находится в соответствии с принципом саморазвития термодинамически открытых экосистем (Мауринь, 1978) и с представлением об эволюции биогеоценозов, подтверждаемым данными о смене палеогеографических

Таблица 1

Общая масса хвоя и ветвей (кг), а также общее число деревьев (в скобках), взятое из ТХР одновозрастных ельников Швейцарии,

и их распределение по ступеням толщины в зависимости от возраста древостоя и класса бонитета по верхней высоте

| Возраст древостоя, лет | Общая масса, кг | Ступени толщины, см | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 62 | 66 | 70 | 74 | 78 | 82 | 86 | |
| Класс бонитета S = 8 м | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 5706 | 84 | 1647 | 3643 | 332* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10312 | 441 | 3781 | 5687 | 403** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (4337) | (1393) | (1788) | (1112) | (44) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 5250 | 19 | 576 | 2827 | 1729 | 99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9694 | 119 | 1587 | 5329 | 2538 | 121 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (2928) | (523) | (910) | (1184) | (302) | (9) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | 5021 | 5 | 211 | 1409 | 2486 | 910 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9435 | 38 | 680 | 3115 | 4295 | 1307 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (2102) | (221) | (459) | (771) | (549) | (102) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 5088 | 2 | 108 | 591 | 1508 | 2060 | 819 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9501 | 13 | 398 | 1501 | 3000 | 3415 | 1174 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (1565) | (100) | (309) | (408) | (408) | (277) | (63) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 4540 | - | 27 | 182 | 476 | 1443 | 1559 | 852 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9175 | - | 125 | 582 | 1199 | 3039 | 2847 | 1382 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (963) | - | (123) | (185) | (181) | (263) | (158) | (53) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 4453 | - | 5 | 47 | 229 | 535 | 1268 | 1571 | 769 | 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9635 | - | 25 | 180 | 700 | 1370 | 2823 | 3111 | 1377 | 49 | | | | | | | | | | | | | | |
| | (655) | - | (30) | (65) | (115) | (125) | (161) | (120) | (38) | (1) | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение табл. 1

| Возраст древо-стоя, лет | Общая масса, кг | Ступени толщины, см | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| | | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 62 | 66 | 70 | 74 | 78 | 82 | 86 | | |
| Класс бонитета S - 14 м | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 10073 | 23 | 1225 | 3222 | 5177 | 426 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14051 | 118 | 2717 | 4825 | 5985 | 406 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (2894) | (268) | (1093) | (869) | (635) | (29) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 9158 | 2 | 376 | 1181 | 3077 | 2764 | 1570 | 189 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12935 | 11 | 1043 | 2227 | 4502 | 3345 | 1633 | 173 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (1918) | (38) | (531) | (469) | (530) | (255) | (88) | (7) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 8623 | - | 92 | 580 | 1249 | 2799 | 2194 | 1517 | 191 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12636 | - | 308 | 1321 | 2216 | 4118 | 2781 | 1699 | 193 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (1350) | - | (190) | (316) | (284) | (331) | (154) | (69) | (6) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 8118 | - | 2 | 121 | 352 | 434 | 1718 | 2877 | 1965 | 604 | 46 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13019 | - | 7 | 372 | 846 | 870 | 2975 | 4415 | 2717 | 762 | 53 | | | | | | | | | | | | | | |
| | (770) | - | (6) | (109) | (124) | (76) | (172) | (181) | (83) | (18) | (1) | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 8144 | - | - | 15 | 55 | 304 | 508 | 989 | 1746 | 2085 | 1574 | 804 | 66 | | | | | | | | | | | | |
| | 14082 | - | - | 58 | 166 | 773 | 1121 | 1937 | 3091 | 3376 | 2355 | 1120 | 86 | | | | | | | | | | | | |
| | (495) | - | - | (20) | (27) | (72) | (67) | (80) | (93) | (77) | (42) | (16) | (1) | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 8157 | - | - | - | - | - | 99 | 285 | 382 | 606 | 1228 | 1817 | 1858 | 1368 | 514 | | | | | | | | | | |
| | 15220 | - | - | - | - | - | 305 | 765 | 915 | 1312 | 2435 | 3180 | 2196 | 778 | | | | | | | | | | | |
| | (339) | - | - | - | - | - | (30) | (47) | (38) | (39) | (54) | (43) | (24) | (7) | | | | | | | | | | | |
| Класс бонитета S - 18 м | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 13569 | 72 | 1710 | 6138 | 5065 | 583 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение табл. 1

| Возраст древостоя, лет | Общая масса, кг | Ступени толщины, см | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 62 | 66 | 70 | 74 | 78 | 82 | 86 |
| | 16659 (3169) | 323 (455) | 3227 (1006) | 7744 (1198) | 4902 (478) | 463 (32) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 11848 | 2 | 442 | 1729 | 3605 | 3992 | 1952 | 117 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 15024 | 13 | 1112 | 2954 | 4727 | 4315 | 1808 | 95 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 2013 | (30) | (470) | (559) | (527) | (324) | (99) | (4) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 10169 | - | 30 | 180 | 561 | 1284 | 2056 | 3229 | 2088 | 741 | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 14064 | - | 114 | 465 | 1129 | 2143 | 2956 | 4101 | 2384 | 771 | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 969 | - | (74) | (117) | (152) | (181) | (172) | (175) | (78) | (20) | | | | | | | | | | | | | |
| 140 | 9863 | - | - | 26 | 110 | 312 | 695 | 1000 | 2026 | 2363 | | | | | | | | | | | | | |
| 160 | 14994 | - | - | 91 | 299 | 708 | 1366 | 1741 | 3178 | 3386 | | | | | | | | | | | | | |
| 180 | 558 | - | - | (28) | (46) | (65) | (83) | (75) | (102) | (84) | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 10117 | - | - | - | 25 | 74 | 184 | 477 | 709 | 954 | | | | | | | | | | | | | |
| 220 | 16735 | - | - | - | 88 | 214 | 462 | 1060 | 1423 | 1752 | | | | | | | | | | | | | |
| 240 | 362 | - | - | - | (15) | (21) | (26) | (46) | (45) | (42) | | | | | | | | | | | | | |
| 260 | 10248 | - | - | - | 1 | 6 | 30 | 118 | 325 | 591 | | | | | | | | | | | | | |
| 280 | 18604 | - | - | - | 5 | 19 | 93 | 321 | 800 | 1330 | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 251 | - | - | - | (1) | (2) | (6) | (14) | (25) | (31) | | | | | | | | | | | | | |
| 320 | 19365 | 369 | 3258 | 4008 | 3732 | 5060 | 2939 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 340 | 19034 | 1460 | 5268 | 4278 | 3029 | 3348 | 1651 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Класс бонитета S - 26 м

Окончание табл. 1

| Возраст древос- тоя, лет | Общая масса, кг | Ступени толщины, см | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 62 | 66 | 70 | 74 | 78 | 82 | 86 |
| 40 | (3400) | (1082) | (1181) | (550) | (270) | (227) | (90) | 2955 | 2554 | 1039 | 499 | | | | | | | | | | | | |
| | 13057 | - | 19 | 504 | 1257 | 2290 | 1943 | 3097 | 2398 | 886 | 391 | | | | | | | | | | | | |
| | 15553 | - | 60 | 1101 | 2121 | 3185 | 2316 | (144) | (89) | (27) | (10) | | | | | | | | | | | | |
| | (1193) | - | (28) | (230) | (261) | (264) | (140) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 11594 | - | - | 21 | 120 | 315 | 673 | 922 | 1488 | 2686 | 2299 | 1672 | 973 | 426 | | | | | | | | | |
| | 15805 | - | - | 68 | 309 | 676 | 1245 | 1507 | 2187 | 3597 | 2833 | 1913 | 1040 | 429 | | | | | | | | | |
| | (587) | - | - | (19) | (46) | (63) | (80) | (71) | (79) | (103) | (66) | (37) | (17) | (6) | | | | | | | | | |
| 80 | 11851 | - | - | - | 23 | 61 | 118 | 338 | 335 | 475 | 1025 | 1604 | 2204 | 1968 | 1506 | 1225 | 843 | 125 | | | | | |
| | 17826 | - | - | - | 82 | 178 | 298 | 757 | 677 | 876 | 1744 | 2538 | 3264 | 2744 | 1986 | 1534 | 1065 | 143 | | | | | |
| | (345) | - | - | - | (14) | (18) | (20) | (36) | (24) | (24) | (38) | (45) | (48) | (34) | (21) | (14) | (8) | (1) | | | | | |
| 100 | 12225 | - | - | - | - | 15 | 27 | 51 | 122 | 240 | 421 | 504 | 851 | 1383 | 1670 | 1753 | 1574 | 1445 | 1056 | 932 | 181 | | |
| | 20457 | - | - | - | - | 56 | 87 | 146 | 315 | 567 | 918 | 1026 | 1623 | 2484 | 2841 | 2834 | 2428 | 2132 | 1495 | 1268 | 237 | | |
| | (226) | - | - | - | - | (6) | (6) | (7) | (11) | (15) | (19) | (17) | (22) | (28) | (27) | (23) | (17) | (13) | (8) | (6) | (1) | | |
| 120 | 13279 | - | - | - | - | - | - | 12 | 28 | 107 | 339 | 230 | 370 | 434 | 657 | 1089 | 1667 | 1714 | 1567 | 1427 | 1340 | 1170 | 1127 |
| | 24435 | - | - | - | - | - | - | 41 | 87 | 311 | 908 | 574 | 868 | 959 | 1377 | 2171 | 3172 | 3121 | 2739 | 2400 | 2171 | 1831 | 1706 |
| | (168) | - | - | - | - | - | - | (2) | (3) | (8) | (18) | (9) | (11) | (10) | (12) | (16) | (20) | (17) | (13) | (10) | (8) | (6) | (5) |

* Первая строка — общая масса хвон в абсолютно сухом состоянии, кг

** Вторая строка — общая масса ветвей в абсолютно сухом состоянии, кг

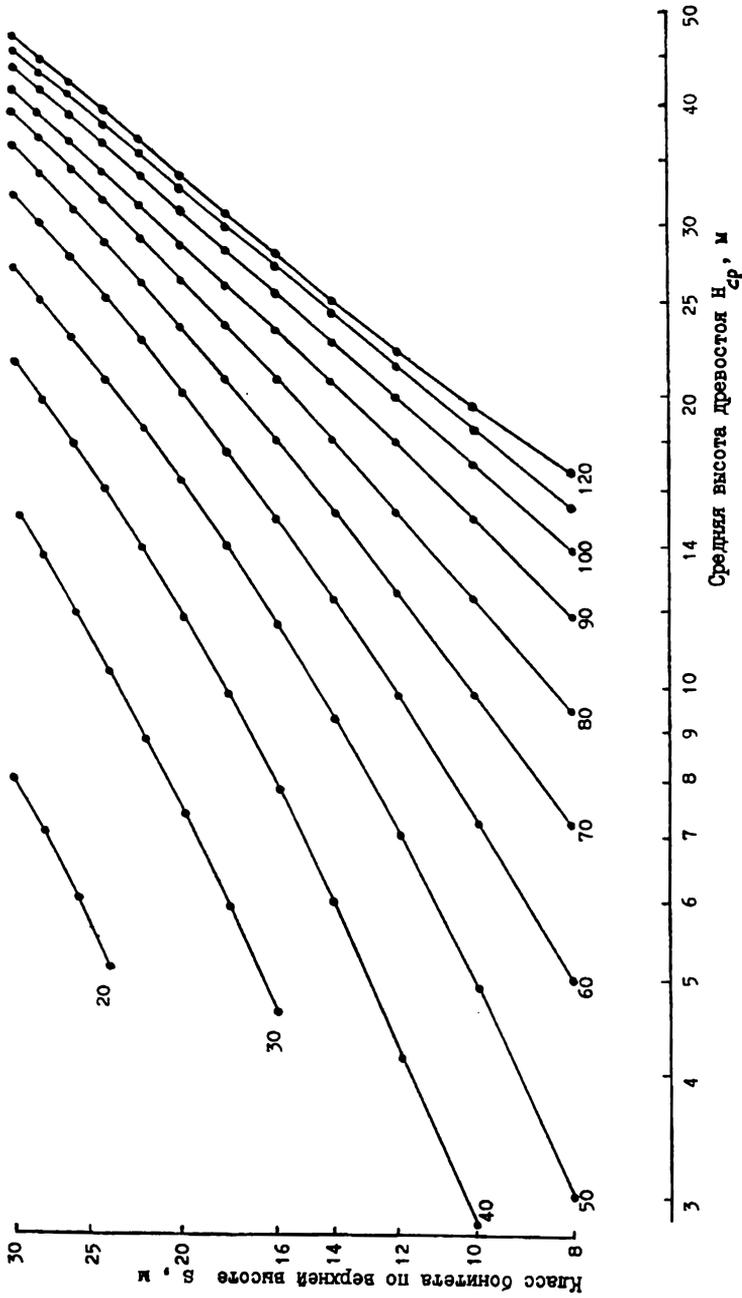
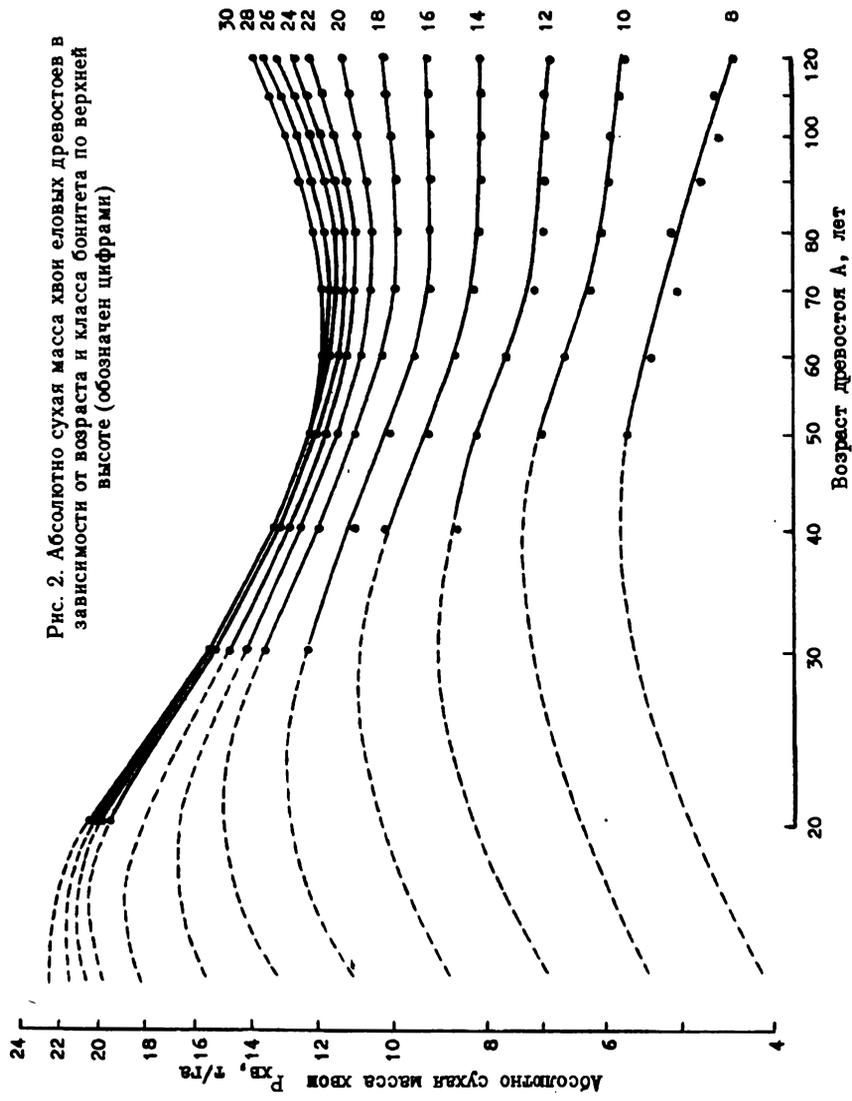


Рис. 1. Зависимость класса бонитета по верхней высоте в возрасте 50 лет от средней высоты древостоя ели и возраста (обозначен цифрами).



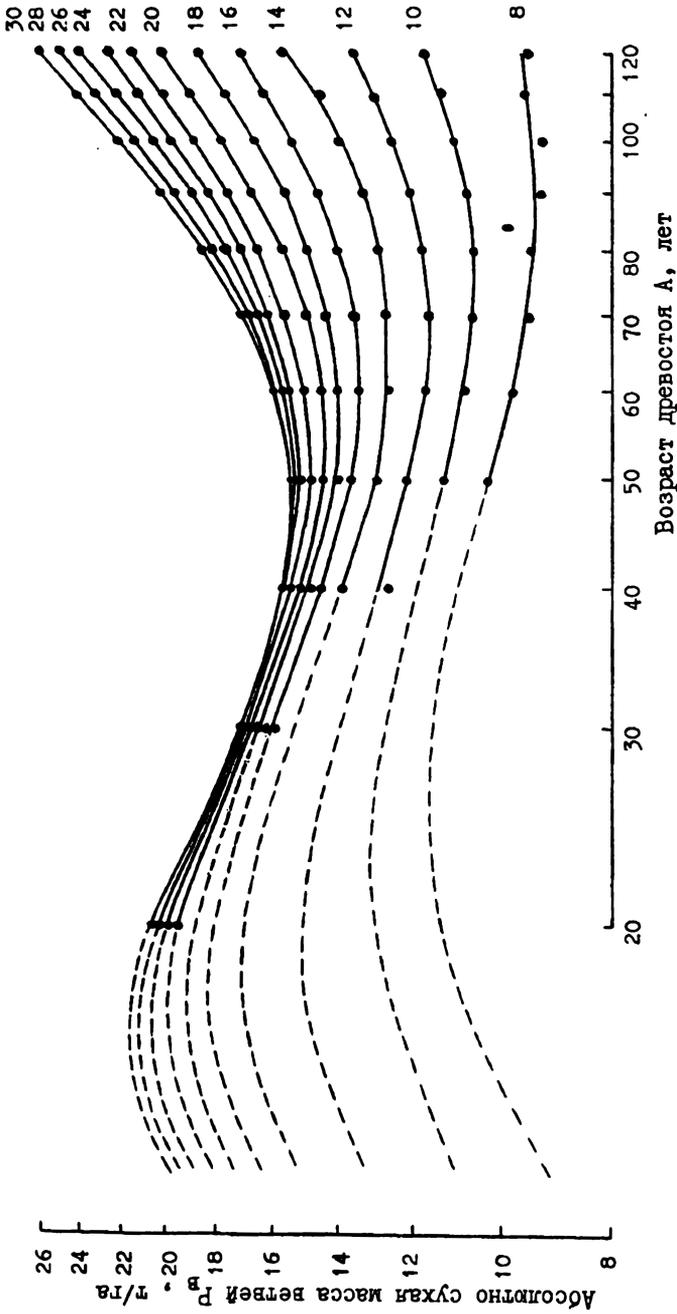


Рис. 3. Абсолютно сухая масса ветвей еловых древостоев в зависимости от возраста и класса бонитета по верхней высоте (обозначен цифрами)

ландшафтов (Тимофеев—Ресовский и др., 1977). Поэтому данные Г. Бургера нуждаются в проверке и актуализации. Во-вторых, эти модели не включают объем стволовой древесины, один из определяющих факторов фитомассы дерева. Эти недостатки будут учтены в последующей работе.

Таблица 2

Константы уравнения (12) для массы хвои и ветвей

| | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 |
|--------|--------|---------|----------|----------|----------|-------|--------|-------|
| Листва | 13,610 | -11,906 | 3,943 | -0,385 | -11,811 | 3,153 | -0,355 | 6,732 |
| Ветви | 4,359 | -4,003 | 1,394 | -0,125 | -5,344 | 1,370 | -0,142 | 4,632 |
| | a_8 | a_9 | a_{10} | a_{11} | a_{12} | R^2 | SE | |
| Листва | -0,312 | -1,864 | 0,153 | 0,009 | - | 0,997 | 0,043 | |
| Ветви | -0,460 | -1,316 | 0,100 | - | 0,087 | 0,998 | 0,039 | |

ЛИТЕРАТУРА

Заварзин Г. А. Международные экологические конвенции // Природа. 1992. № 12. С. 3–7.

Исаев А. С. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И. и др. // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.

Ковалев Ю. Л. Архитектура дерева // Знание – сила. 1975. № 11. С. 36–38.

Макаренко А. А., Маленко А. А. Структура фитомассы молодых сосны ленточных боров Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1984. № 6. С. 79–82.

Мауринь А. М. Принцип необратимости в моделировании биологических систем // Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига: Изд. Латв. ун-та, 1980. С. 3–22.

Онуцин А. А., Борисов А. Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев // Лесоведение. 1984. № 6. С. 66–71.

Поздняков Л. К. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы. Л.: Наука, 1975. Вып. 1. С. 43–55.

Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Книжное изд-во, 1969. 120 с.

Семечкина М. Г. Структура фитомассы сосняков. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 166 с.

Сеннов С. Н. О методике моделирования производительности //

Моделирование и контроль производительности древостоев: Сб. науч. тр. ЛитСХА, Каунас—Академия, 1983. С. 44—46.

Справочник по таксации лесов Казахстана. Алма-Ата: Кайнар, 1980. 313 с.

Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 297 с.

Усольцев В. А. Прогнозирование биологической продуктивности березы и осины в колочных лесах // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1983. № 6. С. 69—77.

Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. — Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. 191 с.

Усольцев В. А. Принципы и методика составления таблиц биопроductивности древостоев // Лесоведение. 1988а. № 2. С. 24—33.

Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988б. 253 с.

Усольцев В. А., Крепкий И. С., Прохоров Ю. А. Биологическая продуктивность естественных и искусственных сосняков Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1985. № 8. С. 74—79.

Усольцев В. А. и др. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала / Усольцев В. А., Мельникова И. В., Тепикин С. В., Нагимов З. Я. // Леса Урала и хозяйство в них. 1994. Вып. 17. С. 155—169.

Уткин А. И. Исследования по первичной продуктивности лесов СССР // Лесоведение. 1970. № 3. С. 58—89.

Amateis R. L., Burkhardt H. E., Greber B. J., Watson E. E. A comparison of approaches for predicting multi-product yields from weight-scaling data // Forest Sci. 1984. Vol. 30 (4). P. 991—998.

Aylor D. Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density, leaf width, and breadth of canopy // J. Acoust. Soc. Amer. 1972. Vol 51. P. 411—414.

Borders B. E. Systems of equations in forest stand modelling // Forest Sci. 1989. Vol. 35. N 2. P. 548—556.

Borders B. E. and Bailey R. L. A compatible system of growth and yield equations for slash pine fitted with restricted three-stage least squares // Forest Sci. 1986. Vol. 32(1). P. 185—201.

Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 13. Mitteilung: Fichten in gleichaltrigen Hochwald // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen, 1953. Bd. 29. S. 38—130.

Cannell M. G. R. World Biomass and Primary Production Data. London: Acad. press, 1982. 320 p.

Cooperrider A. J., Behrend D. F. Simulation of forest dynamics and deer browse production // J. Forestry. 1980. Vol. 78. N 2. P. 85—88.

EAFV, Ertragstafeln: Fichte. Eidg. Anst. fuer das forstl. Versuchswesen, Birmensdorf ZH. 1983.

Global BIOME Programm U. S. Environmental Protection Agency. Corvallis, 191. 8 p.

Hoffmann C. W. Possible uses of the FORECAST forest model in Central Europe, including a sensitivity analysis for the model under Central European conditions, 1994 (ip press).

Hummel F. C., Palz W., Grassi G. (eds.). Biomass forestry in Europe: A strategy for the future. Elsevier Applied Science. London and New York, 1988. 600 p.

IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring, IUFRO, Subject group S4.02.00. 1992. 32 p.

Kimmins J. P., Binkley D., Chatarpaul L., de Catanzaro J. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: Literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients // Can. Forest Serv., PNFI, Inform. Rep. PI-X-47, 1985. 227 p.

Kimmins J. P. Scientific foundations for the simulation of ecosystem function and management in FORCYTE-11. Forestry Canada, Inf. Rep. NOR-X-328. 1993. 88 p.

Kolchugina T. P. and Vinson T. S. Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union // Can. J. For. Res. 1993. N 23. P. 81-88.

Krabill W. and Maclean G. Determining forest canopy characteristics using airborne laser data // Remote Sensing Environ. 1984. N 15. P. 201-212.

Kraeuchi N. Climate change and forest ecosystems – An overview. In: Schlaepfer R. (ed.). Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems. Progress Report of the IUFRO Task Forest «Climate Change and Air Pollution.» Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL. IUFRO World Series, 1993. Vol. 4. P. 53-76.

Kurz W. A., Apps M. J., Webb T. M., McNamee P. J. The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase 1. Forestry Canada, Inf. Rep. NOR-X-326, 1992. 93 p.

Nabuurs G. J. and Mohren G. M. J. Carbon fixation through reforestation activities. IBN Res. Rep. 93/4. IBN-DLO, FACE. Netherlands, Wageningen, Arnhem., 1993. 205 p.

Nelson R., Krabill W., Tonelli J. Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. // Remote Sensing Environ. 1988. N 24. 247-267 p.

Palumets J. Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce. Tartu: Tartu Univer., VIII Scripta Botanica, 1991. 95 p.

Palz W., Chartier P., Hall D. O. (eds.). Energy from biomass: 1st conference. Applied Science Publishers Ltd. London, 1981. 1148 p.

Perttu K. L. (ed.). Ecology and management of forest biomass production systems. Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala. Report 15. 1984. 607 p.

Reichle D. E. (ed.) Dynamic properties of forest ecosystems. International Biological Programme 23. Cambridge: University Press, 1981. 683 p.

Rodin L. E. and Bazilevich N. I. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver and Boyd. London, 1967. 288 p.

Usoltsev V. A. Recurrent regression system as a base for tree and stand biomass tables // Harvesting and utilization of tree foliage: IUFRO Project Group P3.05-00 Meeting. Riga, 1989. P. 217–245.

Usoltsev V. A. Mensuration of forest biomass: Modernization of standard base of forest inventory // XIX World Congress Proceedings, IUFRO, Division 4. Canada, Montreal, 1990. P. 79–92.

Usoltsev V. A. and Vanclay J. K. Biomass growth and structure of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan // Growth and yield estimation from successive forest inventories. Proceed. from the IUFRO Conference. Forskningsserien, 1993. № 3. P. 267–281.

Zingg A. Biomass and energy wood harvesting according to silvicultural needs: production tables, trails and practice, 1994 (in press).