

Grigal D.F., Kernik L.K. Generality of black spruce biomass estimation equations // *Canad. J. Forest Res.* 1984. Vol.14. N 3. P.468-470.

Harding R.B., Grigal D.F. Individual tree biomass estimation equations for plantation-grown white spruce in northern Minnesota // *Canad. J. Forest Res.* 1985. Vol.15. N 4. P.738-739.

Petraš R., Košut M., Ozslanyi J. Listova biomasa stromov smreka, borovice a buca // *Lesn. čas.* 1985. Vol.31. N 2. S.121-136.

Weaver T. Area-mass relationships for common montana shrubs // *Proc. Mont. Acad. Sci.* 1977 (1978). Vol.37. P.54-58.

УДК 630:532

В.А. Усольцев, С.В. Тепикин, В.М. Ваганов  
(Уральский лесотехнический институт)

## **СТРУКТУРА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ В ЕЛЬНИКАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

Впервые для еловых древостоев Урала приведены результаты исследований структуры надземной фитомассы деревьев. Предложены производству таблицы учета массы ветвей, крон и деревьев в целом по их дендрометрическим показателям.

Лесное насаждение как элемент биосферы представляет собой сложную динамическую систему, и единственным объективным подходом к исследованию его структуры и динамики с учетом нарастающего антропогенного воздействия на биосферу и необходимости создания устойчивых экологических комплексов является системный анализ с применением аппарата математического моделирования. Исходными данными при любом виде моделирования с целью изучения эко-

логической роли леса служат количественные показатели фитомассы лесных насаждений. Наряду с экологическим, не менее актуальным является прикладной, ресурсоведческий аспект оценки фитомассы древостоев, который определяет необходимость составления нормативов для учета фитомассы по основным фракциям на основе специфичных, нетрадиционных для лесной таксации методов. Настоящая работа посвящена анализу оценки фитомассы ельников на уровне деревьев и ветвей, составляющих крону деревьев, и разработке методов и таблиц учета в условиях Среднего Урала.

Первые ориентировочные нормативы для оценки массы ветвей деревьев ели были предельно простыми. Составленные В.К. Захаровым (Тюрин и др., 1945), они имели два входа – степень толщины и разряд высот с 1а по У, содержали данные объема сучьев в процентах к стволовой древесине и состыковывались с объемными таблицами. Подобный упрощенный подход практикуется и поныне. Так, В.В. Голиков (1987) приводит таблицу объема ветвей ели сибирской в процентах к стволовой древесине с двумя входами – ступенями толщины деревьев и группами полнот. В принципе тот же подход использован применительно к еловым культурам Беларуси (Нормативные материалы..., 1984), где запасы древесной зелени и ветвей, получаемых при прочистках, прореживаниях и проходных рубках, оцениваются по отношению к плотному кубометру стволовой древесины, вырубаемой при рубках ухода, и дифференцируются по трем классам бонитета и двум градациям полнот – для максимально плотных культур при полноте 0,9...1,0 и регулярно изреживаемых при полноте 0,7...0,8.

Наряду с упрощенными нормативами, публиковались и фактические данные, главным образом надземной фитомассы по фракциям и частично корней деревьев ели в диапазоне их толщин, для средней тайги в возрастном интервале 18... ..105 лет, для южной – от 21 до 75 лет и для подзоны широколиственно-еловых лесов – в возрасте 85 лет (Смирнов, 1971); для спелых ельников чернично-кисличных, сфагново-черничных и чернично-осоково-сфагновых для южной

тайги (Структура и продуктивность..., 1973). Однако в большинстве публикаций приводятся выровненные данные по диаметру стволов всей фитомассы деревьев ели либо только кроны по основным фракциям: для ельников-кисличников Латвии (Иевинь, Дикельсс, 1962; Штибе, 1967); разнотравно-черничных, черничных, черничных влажных и чернично-сфагновых ельников южной Карелии (Шербаков, Зайцева, 1971); зеленомошно-папоротниковых ельников Сихотэ-Алиня (Дюкарев, 1972); ельников штата Мэн в США (*Young et al.*, 1980).

С учетом трудоемкости процедуры взвешивания всей кроны дерева по фракциям разрабатываются расчетные методы оценки массы кроны по массе составляющих ее ветвей. Рассчитываются зависимости от диаметра ветви у основания для массы хвои и скелета ветвей ели Энгельманна по четырем градациям толщин (*Brown*, 1976), а также для общей массы, древесной зелени и массы скелета ветвей верхней, средней и нижней частей кроны ели европейской (*Fiedler*, 1986). В последнем случае выполнено сравнение массы скелета всей кроны, рассчитанной по выведенным уравнениям и перечету ветвей 1 порядка и определенной непосредственным взвешиванием скелета кроны у 19 модельных деревьев. Относительное отклонение варьировало от 0,4 до 11,4 %.

Наряду с фактическими и выровненными данными фитомассы ели на уровне дерева идет процесс накопления фактических данных на уровне древостоя: приводятся показатели массы древесной зелени по четырем классам бонитета ельников-кисличников Латвии (Штибе, 1967); фракций надземной фитомассы ельников-кисличников Валдая в возрасте 15, 30 и 80 лет (Ватковский, 1976); спелых ельников южной тайги по трем типам леса (Структура и продуктивность..., 1973); хвощово-вейниковых, зеленомошных и бруснично-зеленомошных ельников подзоны средней тайги (Поздняков, 1975); сложных ельников подзоны широколиственно-еловых лесов (Носова, 1971); лесных культур ели европейской Ярославской области (Вертикально-фракционное распределение..., 1986); фракций надземной и подземной фи-

томассы спелых ельников юга Карелии по пяти типам леса (Шербаков, Зайцева, 1971) и ельников Черногоры в украинских Карпатах (Голубец, 1971).

Однако подобные фрагментарные данные фитомассы не удовлетворяют запросам лесоустройства и лесохозяйственного производства. К настоящему времени составлены нормативы учета древесной зелени ели тьянь-шаньской для Казахстана (Токмурзин, Байзаков, 1970), а также массы кроны, в том числе древесной зелени ели для северо-запада страны (Лесотаксационный справочник по северо-западу..., 1984) по разрядам высот и ступеням толщины деревьев, т.е. по образцу традиционных объемных или сортиментных таблиц. Аналогичные таблицы для фракций надземной фитомассы и корней ели в свежесрубленном и абсолютно сухом состоянии составлены по совокупности имеющихся в литературе данных В.И. Алексеевым и А.И. Уткиным (1982).

Иной подход при составлении таблиц применили Ф.Фидлер и Л.Вельке (*Fiedler, Welke*, 1986). Учитывая известный факт, что показатели массы кроны у деревьев одного диаметра существенно изменяются с возрастом, они установили для ельников трех возрастных групп (10...20, 20...30 и 30...40 лет) зависимости количества надземной фитомассы от видового цилиндра (произведения квадрата диаметра на высоту) и для каждой возрастной группы составили таблицу с двумя входами типа баварской объемной таблицы.

В современных лесотаксационных справочниках имеются также нормативы для фракций фитомассы ели на уровне древостоя. Для еловых древостоев Карпат составлена упрощенная таблица массы фракций кроны и корней с одним входом – средним диаметром (Нормативно-справочные материалы..., 1987). Для северо-востока европейской части России имеется таблица учета массы древесной зелени и объема ветвей 1 порядка по двум входам – среднему диаметру и сумме площадей сечений еловых древостоев (Лесотаксационный справочник для северо-востока..., 1986). Более детальные таблицы для фракций надземной фитомассы по

типу таблиц хода роста разработаны для полных и максимально продуктивных еловых культур Беларуси. Показатели фитомассы в таблицах даны для оставляемой и выбираемой частей древостоев, приводятся также показатели текущего прироста и опада фитомассы (Нормативные материалы..., 1984).

Наши исследования структуры надземной фитомассы проведены в ельниках Предуральской предгорной провинции широколиственно-хвойных лесов Среднего Урала в травяно-зеленомошниковом типе леса на 15 пробных площадях в сомкнутых древостоях П...У классов возраста П и Ш классов бонитета. Взято 100 модельных деревьев по ступеням толщины со взвешиванием каждой фракции (крона в целом, ветви отмершие, ствол) и последующим переводом массы в абсолютно сухое состояние термовесовым способом по взятым навескам хвои и выпилам. На высоте груди измеряли диаметр и годичный радиальный прирост, средний за последние 5 лет. Крону делили на 5 равных частей. С 51 дерева в том же интервале классов возраста по каждой из 5 секций взято по одной средней модельной ветви (всего 255 ветвей), хвою с которой отделяли вручную, взвешивали ветвь с хвоей и без хвои (скелет ветви) со взятием выпилов. Долю хвои и коры модельных ветвей пересчитывали на массу каждой секции и последующим суммированием получали массу хвои и скелета кроны, в том числе коры. Массу ствола определяли непосредственным взвешиванием, предварительно распилив его на 10 отрезков по относительным высотам. Долю коры определяли по 6 выпилам, взятым по длине ствола (на пне, 1,3 м, 1/4Н, 1/2Н, 3/4Н и у основания вершины).

Обработка экспериментального материала выполнена на компьютере IBM PC XT по программе многомерного регрессионного анализа, разработанной А.А. Ахременковым. Лесоводственная информация представлена, как правило, многомерными массивами данных, и приходится учитывать целый комплекс определяющих факторов. Современный многомерный анализ объектов увеличивает возможности извлечения информации из исходных данных. Существует обширный круг его методов: факторный, кластерный, дисперсионный,

главных компонент, корреляционных плеед и др. В физике, химии, технике, сельском хозяйстве и т.д. широко используют метод Бокса-Уилсона при планировании эксперимента: задают различные уровни варьирующих факторов, получают для каждого уровня отклик (значение результирующего фактора) и затем строят многомерную поверхность отклика. В лесоводстве это трудно реализуемо, поскольку в конкретном диапазоне лесорастительных условий практически невозможно получить полный набор пробных площадей с заранее заданными лесоводственными и таксационными характеристиками. В лесотаксационных исследованиях находит широкое применение техника классического регрессионного анализа как математический аппарат выявления множественных связей, достаточно хорошо разработанная. Характерное отличие множественных регрессий от других видов многомерного анализа состоит в том, что первые дают аналитическое выражение для исходных соотношений и характеристик процесса, а это является важным условием для составления статистически обоснованных таксационных нормативов. Путем выявления многомерных зависимостей структуры и динамики фракций фитомассы на уровне ветвей, деревьев и древостоев от основных определяющих факторов создается основа для составления таксационных нормативов для учета фитомассы.

В нашей предыдущей работе (Теликин, Усольцев, 1990) на базе вышеназванного экспериментального материала было обосновано включение в регрессионную модель в качестве факторов, объясняющих варьирование массы фракций ветвей 1 порядка, диаметра у основания ветви  $d_0$ , длины ветви  $L$ , диаметра охвоенной части  $d_{ох}$  и диаметра дерева на высоте груди  $D$ . В итоге для общей массы ветви, массы скелета ветви и массы коры в свежесрубленном состоянии были получены уравнения множественной статической аллометрии вида

$$\rho = a_0 \cdot d_0^{a_1} \cdot L^{a_2} \cdot D^{a_3} \cdot d_{ох}^{a_4} . \quad (1)$$

После пересчета массы фракции на абсолютно сухое состояние были рассчитаны парные аллометрические уравне-

ния по каждому из факторов модели (1) и соответствующие коэффициенты детерминации. Как и следовало ожидать, наиболее информативным фактором для объяснения изменчивости массы названных фракций оказался диаметр  $d_0$  ( $R^2 = 0,925...0,933$ ) и наименее информативным -  $d_{ox}$  ( $R^2 = 0,114...0,284$ ). Последний фактор при введении его в модель (1) оказался статистически недостоверным для массы скелета ветвей и их коры в абсолютно сухом состоянии. Качественный анализ массива экспериментальных данных выявил необходимость введения в модель дополнительных переменных - синергизмов (факторов совместного действия), и окончательная структура модели имеет вид

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln d_0 + a_2 \ln L + a_3 \ln D + a_4 \ln^2 d_0 + a_5 \ln^2 d_0 \ln L, \quad (2)$$

где  $d_0$  - выражен в мм,  $L$  - в см,  $D$  - в см,  $P$  - в г. Все переменные уравнения (2) для трех названных фракций оказались статистически значимыми (табл. 1).

Результаты табулирования уравнения (2) по трем ступеням толщины деревьев сведены в табл. 2 и 3, где масса хвои получена вычитанием табулированных значений массы скелета ветвей из общей их массы. Уравнение (2) и результаты его табулирования (табл. 2 и 3) позволяют определить массу фракций всей кроны деревьев по ступеням толщины расчетным путем на основе обмеров линейных размеров ветвей сваленных деревьев в интервале классов возраста сомкнутых ельников со П по У.

В нашей предыдущей работе (Нагимов и др., 1990) в качестве основных факторов, определяющих массу хвои, древесной зелени и ветвей кроны дерева в целом в свежесрубленном состоянии, были приняты возраст, высота, диаметр на высоте груди дерева и видовой цилиндр. Поскольку возраст и диаметр в данных диапазонах берут на себя основную долю варьирования фитомассы, то высота и видовой цилиндр в этом случае оказались статистически недостоверными. В итоге была составлена таблица массы древесной зелени и кроны в свежем состоянии по двум входам - возрасту и диаметру на высоте груди (Тепикин и др., 1990).

Таблица 1

## Характеристика уравнения (2)

| Масса фракций            | Константы при переменных (числитель) и их значимость по Стюденту (знаменатель) |                      |                      |                      |                       | $R^2$ |
|--------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------|
|                          | $a_0$  | $a_1$                | $a_2$                | $a_3$                | $a_4$                 |       |
| Вся ветвь                | $\frac{-2,2060}{2,0}$  | $\frac{1,4937}{4,9}$ | $\frac{0,2624}{3,2}$ | $\frac{1,6736}{3,8}$ | $\frac{-0,1779}{3,9}$ | 0,875 |
| В том числе скелет ветви | $\frac{1,8589}{2,0}$   | $\frac{1,9669}{8,2}$ | $\frac{0,1378}{2,2}$ | $\frac{1,4350}{4,1}$ | $\frac{-0,1537}{4,4}$ | 0,951 |
| В том числе кора ветви   | $\frac{-3,3853}{3,1}$  | $\frac{2,1345}{7,7}$ | $\frac{0,2761}{3,8}$ | $\frac{1,9601}{4,9}$ | $\frac{-0,2046}{5,0}$ | 0,925 |

Таблица 2

Масса скелета ветви (числитель), в том числе коры  
(знаменатель), в абсолютно сухом состоянии (г) в  
зависимости от диаметра у основания и длины ветви  
по ступеням толщины деревьев

| $d_0$ ,<br>мм                 | Д л и н а   в е т в и ,   с м |                   |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                               | 20                            | 40                | 60               | 80               | 100               | 120               | 140               | 160               | 180               |
| I                             | 2                             | 3                 | 4                | 5                | 6                 | 7                 | 8                 | 9                 | 10                |
| $\mathcal{D} = 12 \text{ см}$ |                               |                   |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |
| 4                             | <u>0,9</u><br>0,5             | <u>2,8</u><br>1,6 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 8                             | <u>2,5</u><br>1,1             | <u>6,2</u><br>2,7 | <u>10</u><br>4,5 | <u>15</u><br>6,4 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 12                            | -                             | -                 | <u>22</u><br>9,0 | <u>29</u><br>12  | <u>37</u><br>14   | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 16                            | -                             | -                 | <u>43</u><br>19  | <u>54</u><br>22  | <u>64</u><br>25   | <u>75</u><br>28   | -                 | -                 | -                 |
| 20                            | -                             | -                 | -                | <u>95</u><br>40  | <u>109</u><br>43  | <u>121</u><br>46  | <u>133</u><br>48  | -                 | -                 |
| 24                            | -                             | -                 | -                | <u>160</u><br>72 | <u>176</u><br>73  | <u>190</u><br>74  | <u>202</u><br>75  | <u>214</u><br>76  | -                 |
| 28                            | -                             | -                 | -                | -                | <u>273</u><br>121 | <u>287</u><br>118 | <u>299</u><br>116 | <u>310</u><br>113 | <u>319</u><br>112 |
| 32                            | -                             | -                 | -                | -                | -                 | <u>423</u><br>183 | <u>431</u><br>174 | <u>438</u><br>167 | <u>444</u><br>160 |
| 36                            | -                             | -                 | -                | -                | -                 | -                 | <u>606</u><br>257 | <u>606</u><br>241 | <u>605</u><br>227 |
| 40                            | -                             | -                 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | <u>822</u><br>341 | <u>811</u><br>316 |
| $\mathcal{D} = 20 \text{ см}$ |                               |                   |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |
| 4                             | <u>0,9</u><br>0,5             | <u>3,0</u><br>1,8 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 8                             | <u>2,8</u><br>1,3             | <u>6,6</u><br>3,1 | <u>11</u><br>5,1 | <u>16</u><br>7,4 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 12                            | -                             | -                 | <u>23</u><br>10  | <u>31</u><br>13  | <u>39</u><br>16   | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 16                            | -                             | -                 | <u>46</u><br>21  | <u>58</u><br>25  | <u>69</u><br>29   | <u>80</u><br>32   | -                 | -                 | -                 |

Окончание табл.2

| I                             | 2                 | 3                 | 4                | 5                | 6                 | 7                 | 8                 | 9                 | 10                |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 20                            | -                 | -                 | -                | <u>102</u><br>47 | <u>117</u><br>50  | <u>130</u><br>53  | <u>142</u><br>55  | -                 | -                 |
| 24                            | -                 | -                 | -                | <u>172</u><br>83 | <u>189</u><br>85  | <u>204</u><br>86  | <u>217</u><br>87  | <u>229</u><br>87  | -                 |
| 28                            | -                 | -                 | -                | -                | <u>294</u><br>139 | <u>308</u><br>136 | <u>321</u><br>133 | <u>332</u><br>131 | <u>343</u><br>129 |
| 32                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | <u>454</u><br>211 | <u>462</u><br>200 | <u>470</u><br>192 | <u>477</u><br>185 |
| 36                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | -                 | <u>651</u><br>296 | <u>650</u><br>277 | <u>650</u><br>261 |
| 40                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | <u>883</u><br>393 | <u>870</u><br>364 |
| $\varnothing = 32 \text{ см}$ |                   |                   |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |
| 4                             | <u>1,0</u><br>0,6 | <u>3,2</u><br>2,0 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 8                             | <u>2,9</u><br>1,5 | <u>7,0</u><br>3,5 | <u>12</u><br>5,9 | <u>17</u><br>8,4 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 12                            | -                 | -                 | <u>25</u><br>12  | <u>33</u><br>15  | <u>42</u><br>18   | -                 | -                 | -                 | -                 |
| 16                            | -                 | -                 | <u>49</u><br>24  | <u>62</u><br>29  | <u>74</u><br>33   | <u>85</u><br>36   | -                 | -                 | -                 |
| 20                            | -                 | -                 | -                | <u>109</u><br>53 | <u>125</u><br>57  | <u>139</u><br>60  | <u>152</u><br>63  | -                 | -                 |
| 24                            | -                 | -                 | -                | <u>183</u><br>95 | <u>201</u><br>96  | <u>217</u><br>98  | <u>231</u><br>99  | <u>245</u><br>99  | -                 |
| 28                            | -                 | -                 | -                | -                | <u>314</u><br>159 | <u>329</u><br>155 | <u>342</u><br>151 | <u>354</u><br>149 | <u>365</u><br>146 |
| 32                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | <u>484</u><br>240 | <u>493</u><br>228 | <u>501</u><br>219 | <u>508</u><br>210 |
| 36                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | -                 | <u>694</u><br>337 | <u>694</u><br>315 | <u>693</u><br>298 |
| 40                            | -                 | -                 | -                | -                | -                 | -                 | -                 | <u>942</u><br>447 | <u>928</u><br>415 |



Однако, как отмечалось выше, для лесоустройства и лесохозяйственного производства разрабатываются таблицы по фракциям типа традиционных объемных или сортиментных таблиц, не включающие возраст древостоя. Многомерный регрессионный анализ по уравнению, учитывающему в качестве независимых переменных диаметр, высоту и видовой цилиндр, показал, что для всех учтенных фракций фитомассы в абсолютно сухом состоянии (ствол, в том числе кора; крона, в том числе хвоя и ветви в коре, а также кора ветвей и отмершие ветви) и древесной зелени в свежесрубленном состоянии наибольшей надежностью обладает уравнение, включающее только видовой цилиндр. Следовательно, вывод о меньшей информативности видового цилиндра при оценке массы крон березы и сосны (*Schmitt, Grigal, 1981; Усольцев, 1985, 1988*) не подтверждается данными по фитомассе ели. В итоге по массиву показателей фитомассы для 44 модельных деревьев, взятых в ельниках Ш...У классов возраста, рассчитано уравнение Спурра (*Prodan, 1965*)

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln (D^2 H), \quad (3)$$

где  $P$  – масса фракции в абсолютно сухом состоянии, кг;  $H$  – высота дерева, м;  $D$  – диаметр на высоте груди, см. Диапазон классов возраста ельников, в которых взяты модельные деревья для расчета уравнения (3), сокращен с целью исключения искажающего влияния возраста на зависимость (3). Характеристика уравнения (3) дана в табл. 4.

Табулирование уравнения (3), табл. 5, выполнено по соотношениям диаметров и высот на базе шкалы разрядов высот П.В. Горского, использованной им при составлении объемных таблиц для ельников Пермской области (Сokolov, Лысов, 1989). Табл. 5 может быть использована для оценки фракционной структуры надземной фитомассы в ельниках травяно-зеленомошных Среднего Урала по разрядам высот как на уровне дерева, так и после перечета деревьев на единице площади на уровне древостоя.

Овладение методами расшифровки аккумулированной в лесной фитомассе ретроспективной информации о реакции лес-

Таблица 4

## Характеристика уравнения (3)

| Масса фракций                  | Константы при переменных |        | $R^2$ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-------|
|                                | $a_0$                    | $a_1$  |       |
| Ствол в коре, в том числе кора | -3,7681                  | 0,9481 | 0,988 |
| Крона в целом, в том числе:    | -5,2116                  | 0,8454 | 0,964 |
| хвоя                           | -4,8189                  | 0,9058 | 0,939 |
| ветви в коре                   | -4,9515                  | 0,8386 | 0,949 |
| кора ветвей                    | -6,2704                  | 0,9915 | 0,922 |
| Отмершие ветви                 | -7,1287                  | 0,9783 | 0,918 |
| Древесная зелень               | -5,3635                  | 0,7768 | 0,872 |
|                                | -3,7284                  | 0,8424 | 0,955 |

ного насаждения на экзо- и эндогенные воздействия является важным условием оптимизации его биопродукционного процесса. Морфологические проявления адаптации деревьев к изменяющимся условиям среды закономерно регистрируются в ширине годичного кольца ствола. Этот показатель, тесно связанный с количественными и качественными характеристиками ассимиляционного аппарата, может быть использован при оценке массы кроны деревьев. Начиная с самых первых работ по биопродуктивности, исследователи находили тесную связь массы хвои с текущим объемом приростом ствола. Последний определяется тремя составляющими – радиальным приростом, диаметром и высотой дерева, а с учетом тесной корреляции диаметра и высоты в однородных лесорастительных условиях – только двумя факторами: радиальным приростом и диаметром ствола. По совокупности 100 модельных деревьев в исследуемых ельниках рассчитаны двухфакторные регрессионные уравнения:

для хвои

$$\ln P = -1,5546 + 1,9310 \ln D + 0,4064 \ln Z, \quad (4)$$

Таблица 5  
 Масса фракций дерева в зависимости от диаметра и высоты по шкале разрядов высот П.В. Горского

| D, см           | H, м | Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг |      |       |             |       |      |       |                |      |  | Древесная земля в свежем состоянии, кг |
|-----------------|------|---|------|-------|-------------|-------|------|-------|----------------|------|--|--|
|                 |      | Ствол                                     |      |       | Крона       |       |      |       | Отмершие ветви |      |  |  |
|                 |      | всего                                     | кора | всего | в том числе |       |      | всего | ветви          | кора |  |  |
|                 |      |   |      |       | хвоя        | ветви | кора |       |                |      |  |  |
| 1               | 2    | 3   | 4    | 5     | 6           | 7     | 8    | 9     | 10             |      |  |  |
| Ш разряд высот  |      |   |      |       |             |       |      |       |                |      |  |  |
| 8               | 12,0 | 12,6                                      | 1,5  | 3,3   | 1,9         | 1,4   | 0,5  | 0,8   | 6,5            |      |  |  |
| 12              | 16,0 | 35,6                                      | 3,8  | 8,9   | 4,7         | 4,1   | 1,6  | 1,9   | 16,3           |      |  |  |
| 16              | 18,6 | 70,9                                      | 7,0  | 17,4  | 9,2         | 8,2   | 3,2  | 3,4   | 30,1           |      |  |  |
| 20              | 21,8 | 125,8                                     | 11,7 | 29,6  | 14,3        | 15,3  | 5,7  | 5,4   | 50,1           |      |  |  |
| 24              | 24,0 | 194,7                                     | 17,3 | 45,1  | 21,0        | 24,1  | 9,2  | 7,7   | 73,9           |      |  |  |
| 28              | 25,6 | 277,2                                     | 23,7 | 73,6  | 28,7        | 34,9  | 13,0 | 10,3  | 101,2          |      |  |  |
| 32              | 26,7 | 371,6                                     | 30,7 | 84,6  | 37,2        | 47,4  | 17,6 | 13,1  | 131,3          |      |  |  |
| 36              | 27,6 | 479,4                                     | 38,6 | 108,5 | 46,6        | 61,9  | 22,9 | 16,1  | 164,7          |      |  |  |
| 40              | 28,4 | 601,5                                     | 47,2 | 135,4 | 56,9        | 78,5  | 28,9 | 19,4  | 201,5          |      |  |  |
| 44              | 28,9 | 732,7                                     | 56,3 | 164,2 | 67,8        | 96,4  | 35,4 | 22,8  | 240,1          |      |  |  |
| 48              | 29,4 | 878,0                                     | 66,2 | 196,2 | 79,6        | 116,6 | 42,7 | 26,5  | 282,0          |      |  |  |
| IY разряд высот |      |   |      |       |             |       |      |       |                |      |  |  |
| 8               | 11,0 | 11,6                                      | 1,4  | 3,0   | 1,7         | 1,3   | 0,5  | 0,8   | 6,0            |      |  |  |
| 12              | 14,5 | 32,4                                      | 3,5  | 8,0   | 4,3         | 3,7   | 1,4  | 1,8   | 15,0           |      |  |  |
| 16              | 17,2 | 65,8                                      | 6,6  | 15,8  | 8,0         | 7,8   | 2,9  | 3,2   | 28,2           |      |  |  |
| 20              | 20,2 | 117,0                                     | 11,0 | 27,6  | 13,4        | 14,2  | 5,3  | 5,1   | 47,0           |      |  |  |
| 24              | 22,1 | 180,0                                     | 16,1 | 41,8  | 19,6        | 22,2  | 8,2  | 7,2   | 69,0           |      |  |  |
| 28              | 23,6 | 256,6                                     | 22,1 | 59,0  | 26,8        | 32,2  | 12,0 | 9,2   | 94,5           |      |  |  |
| 32              | 24,6 | 343,8                                     | 28,7 | 78,4  | 34,7        | 43,7  | 16,2 | 12,3  | 122,6          |      |  |  |

Продолжение табл. 5

| 1                | 2    | 3     | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    |
|------------------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| 36               | 25,5 | 444,8 | 36,1 | 100,8 | 43,6 | 57,2 | 21,2 | 15,2 | 154,1 |
| 40               | 26,1 | 555,2 | 44,0 | 125,2 | 53,0 | 72,2 | 26,6 | 18,2 | 187,6 |
| 44               | 26,7 | 679,7 | 52,6 | 152,6 | 63,4 | 89,2 | 32,8 | 21,5 | 224,6 |
| У разряд высот   |      |       |      |       |      |      |      |      |       |
| 8                | 10,0 | 10,6  | 1,3  | 2,7   | 1,6  | 1,1  | 0,4  | 0,7  | 5,6   |
| 12               | 13,5 | 30,3  | 3,3  | 7,5   | 4,1  | 3,4  | 1,3  | 1,7  | 14,2  |
| 16               | 15,7 | 60,3  | 6,1  | 14,5  | 7,4  | 7,1  | 2,7  | 3,0  | 26,1  |
| 20               | 18,6 | 108,2 | 10,2 | 25,5  | 12,5 | 13,0 | 4,9  | 4,8  | 43,9  |
| 24               | 20,5 | 167,5 | 15,1 | 39,2  | 18,4 | 20,6 | 7,7  | 6,8  | 64,7  |
| 28               | 21,9 | 239,1 | 20,7 | 55,1  | 25,2 | 29,9 | 11,2 | 9,2  | 88,7  |
| 32               | 23,0 | 322,6 | 27,1 | 73,7  | 32,8 | 40,9 | 15,2 | 11,7 | 115,8 |
| 36               | 23,8 | 416,6 | 34,0 | 94,5  | 41,1 | 53,4 | 19,8 | 14,4 | 145,4 |
| 40               | 24,4 | 520,9 | 41,5 | 117,6 | 50,1 | 67,5 | 24,9 | 17,3 | 177,3 |
| 44               | 24,9 | 636,2 | 49,6 | 143,0 | 59,8 | 83,2 | 30,6 | 20,3 | 211,8 |
| У1 разряд высоты |      |       |      |       |      |      |      |      |       |
| 8                | 8,7  | 9,2   | 1,1  | 2,4   | 1,4  | 1,0  | 0,4  | 0,6  | 4,9   |
| 12               | 12,0 | 27,1  | 3,0  | 6,8   | 3,7  | 3,1  | 1,2  | 1,5  | 12,8  |
| 16               | 14,2 | 54,9  | 5,6  | 13,2  | 6,8  | 6,4  | 2,4  | 2,7  | 24,0  |
| 20               | 16,9 | 98,8  | 9,2  | 23,4  | 11,5 | 11,9 | 4,5  | 4,4  | 40,5  |
| 24               | 18,6 | 152,9 | 13,9 | 35,6  | 16,9 | 18,7 | 7,0  | 6,3  | 59,6  |
| 28               | 19,9 | 218,3 | 19,1 | 50,4  | 23,2 | 27,2 | 10,2 | 8,5  | 81,9  |
| 32               | 20,9 | 294,6 | 25,0 | 67,5  | 30,3 | 37,2 | 13,8 | 10,8 | 106,8 |
| 36               | 21,6 | 380,0 | 31,3 | 86,4  | 37,9 | 48,5 | 18,0 | 13,3 | 134,0 |
| 40               | 22,2 | 476,3 | 38,3 | 107,8 | 46,3 | 61,5 | 22,7 | 16,0 | 163,7 |
| 44               | 22,7 | 582,8 | 45,9 | 131,3 | 55,4 | 75,9 | 28,0 | 18,9 | 195,9 |

Таблица 6

Фитомасса хвой (числитель) и ветвей (знаменатель), кг,  
в зависимости от диаметра ствола и радиального прироста,  
среднего за последние 5 лет

|    |                     | Средняя ширина годичного кольца на высоте груди за последние<br>5 лет |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |      |
|----|---------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| см |                     | 0,04  | 0,08                | 0,12                | 0,16                | 0,20                | 0,24                | 0,28                | 0,32                | 0,36                | 0,40 |
|    |                     | 1   | 2                   | 3                   | 4                   | 5                   | 6                   | 7                   | 8                   | 9                   | 10   |
| 4  | $\frac{0,8}{0,5}$   | $\frac{1,1}{0,6}$   | $\frac{1,3}{0,7}$   | $\frac{1,5}{0,8}$   | $\frac{1,6}{0,8}$   | $\frac{1,7}{0,9}$   | $\frac{1,8}{0,9}$   | $\frac{1,9}{0,9}$   | $\frac{2,0}{1,0}$   | $\frac{2,1}{1,0}$   |      |
| 8  | $\frac{3,2}{2,5}$   | $\frac{4,2}{3,0}$   | $\frac{4,9}{3,3}$   | $\frac{5,6}{3,6}$   | $\frac{6,1}{3,8}$   | $\frac{6,5}{4,0}$   | $\frac{7,0}{4,2}$   | $\frac{7,4}{4,3}$   | $\frac{7,7}{4,4}$   | $\frac{8,1}{4,6}$   |      |
| 12 | $\frac{6,9}{6,1}$   | $\frac{9,2}{7,3}$   | $\frac{10,8}{8,1}$  | $\frac{12,2}{8,8}$  | $\frac{13,3}{9,3}$  | $\frac{14,3}{9,8}$  | $\frac{15,3}{10,2}$ | $\frac{16,1}{10,5}$ | $\frac{16,9}{10,9}$ | $\frac{17,7}{11,2}$ |      |
| 16 | $\frac{12,1}{11,4}$ | $\frac{16,0}{13,7}$   | $\frac{18,9}{15,3}$ | $\frac{21,2}{16,5}$ | $\frac{23,2}{17,5}$ | $\frac{25,0}{18,4}$ | $\frac{26,6}{19,2}$ | $\frac{28,1}{19,9}$ | $\frac{29,5}{20,5}$ | $\frac{30,8}{21,1}$ |      |
| 20 | $\frac{18,6}{18,7}$ | $\frac{24,6}{22,5}$   | $\frac{29,0}{25,0}$ | $\frac{32,6}{27,0}$ | $\frac{35,7}{28,7}$ | $\frac{38,5}{30,1}$ | $\frac{41,0}{31,3}$ | $\frac{43,3}{32,5}$ | $\frac{45,4}{33,5}$ | $\frac{47,4}{34,5}$ |      |
| 24 | $\frac{26,4}{28,0}$ | $\frac{35,0}{33,6}$   | $\frac{41,3}{37,4}$ | $\frac{46,4}{40,4}$ | $\frac{50,8}{42,8}$ | $\frac{54,7}{45,0}$ | $\frac{58,3}{46,8}$ | $\frac{61,5}{48,5}$ | $\frac{64,5}{50,1}$ | $\frac{67,3}{51,5}$ |      |

Продолжение табл. 6

| 1  | 2                   | 3                   | 4                   | 5                   | 6                   | 7                   | 8                   | 9                   | 10                  | 11                  |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 28 | $\frac{35,6}{39,3}$ | $\frac{47,2}{47,2}$ | $\frac{55,6}{52,5}$ | $\frac{62,5}{56,7}$ | $\frac{68,4}{60,2}$ | $\frac{73,7}{63,1}$ | $\frac{78,5}{65,8}$ | $\frac{82,8}{68,2}$ | $\frac{86,9}{70,3}$ | $\frac{90,7}{72,3}$ |
| 32 | $\frac{46,0}{52,7}$ | $\frac{61,0}{63,3}$ | $\frac{72,0}{70,5}$ | $\frac{80,9}{76,1}$ | $\frac{88,6}{80,7}$ | $\frac{95,4}{84,8}$ | $\frac{101}{88,3}$  | $\frac{107}{91,5}$  | $\frac{112}{94,4}$  | $\frac{117}{97,1}$  |
| 36 | $\frac{57,8}{65,3}$ | $\frac{76,6}{82,1}$ | $\frac{90,3}{91,4}$ | $\frac{101}{98,7}$  | $\frac{111}{105}$   | $\frac{120}{110}$   | $\frac{127}{114}$   | $\frac{135}{119}$   | $\frac{141}{122}$   | $\frac{147}{126}$   |
| 40 | $\frac{70,8}{86,2}$ | $\frac{93,9}{103}$  | $\frac{111}{115}$   | $\frac{124}{124}$   | $\frac{136}{132}$   | $\frac{147}{139}$   | $\frac{156}{144}$   | $\frac{165}{150}$   | $\frac{173}{154}$   | $\frac{181}{159}$   |
| 44 | $\frac{85,2}{106}$  | $\frac{112}{128}$   | $\frac{133}{142}$   | $\frac{149}{153}$   | $\frac{164}{163}$   | $\frac{176}{171}$   | $\frac{188}{178}$   | $\frac{198}{185}$   | $\frac{208}{190}$   | $\frac{217}{196}$   |
| 48 | $\frac{101}{129}$   | $\frac{133}{154}$   | $\frac{157}{172}$   | $\frac{177}{186}$   | $\frac{194}{197}$   | $\frac{209}{207}$   | $\frac{222}{216}$   | $\frac{235}{224}$   | $\frac{246}{231}$   | $\frac{257}{237}$   |

для ветвей

$$\ln P = -2,8194 + 2,2038 \ln D + 0,2653 \ln Z, \quad (5)$$

где  $P$  – масса фракции, кг;  $Z$  – средняя ширина годичного кольца за последние 5 лет, мм.

В результате табулирования уравнений (4) и (5) по ступеням толщины деревьев и грациям радиального прироста получены нормативы (табл. 6) для оценки фитомассы крон растущих деревьев с использованием мерной вилки (штангенциркуля) и приростного молотка (бурава).

Итак, в работе реализована программа комплексной оценки фитомассы деревьев и составляющих крону компонентов в ельнике травяно-зеленомошном, в результате чего составлены нормативы для лесоинвентаризации с целью учета и использования всей фитомассы древостоев.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Алексеев В.И., Уткин А.И. Таблицы массы фракций деревьев главнейших лесообразующих пород: сосны, ели, березы и осины//Биологическая продуктивность лесов Поволжья. М., 1982. С. 237–240.

Ватковски й О.С. Анализ формирования первичной продуктивности лесов. М., 1976. 116 с.

Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах//Под ред. С.Э. Вомперского и А.И. Уткина. М., 1986. 261 с.

Голиков В.В. Продуктивность надземной фитомассы хвойных древостоев Сибири: Автореф. дис.... д-ра с.-х. наук Красноярск, 1987. 39 с.

Голубец М.А. Экологические условия и закономерности накопления фитомассы в ельниках Черногоры (Украинские Карпаты)//Биологическая продуктивность ельников: Тез. докл. Тарту, 1971. С. 59–64.

Джарев В.Н. Структура и продуктивность фитомассы зеленомошно-папоротниковых ельников в процессе их воз-

растного развития (южный и средний Сихотэ-Алинь): Автореф. дис.... канд. с.-х. наук, Владивосток, 1972, 24 с.

Иевинь И.К., Дикельсон Э.О. Масса кроны осины, березы и ели в кисличниках Латвии//Лесн. хоз-во, 1962. № 4. С.20-23,

Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР: Нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР. Архангельск, 1986. 358 с.

Лесотаксационный справочник по северо-западу СССР. Л., 1984. 319 с.

Нагимов З.Я., Усольцев В.А. и др. Фитомасса кроны в сосняках и ельниках Среднего Урала//Проблемы лесоведения и лесной экологии. Ч. 1: Тез. докл. М., 1990. С.236-239.

Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. Киев, 1987. 559 с.

Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР. М., 1984. 308 с.

Носова Л.М. Продуктивность и вертикально-фракционное распределение фитомассы и ее прироста сложных ельников//Биологическая продуктивность ельников: Тез. докл. Тарту, 1971. С. 133-138.

Поздняков Л.К. Продуктивность лесов Сибири//Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной Биологической Программе. Вып. 1. Л., 1975. С. 43-55.

Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитосообщах европейской части СССР. М., 1971. 362 с.

Соколов С.В., Лысов Л.А. Методические указания по лесной таксации для самостоятельной работы, лабораторно-практических занятий и учебной практики студентов специальностей 3112, 0704, 2601 очной и заочной форм обучения. Свердловск, 1989. 38 с.

Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л., 1973. 312 с.

Тепикин С.В., Усольцев В.А. Зависимость массы ветвей от их морфометрических показателей как основа оценки фитомассы деревьев ели//Ботанические исследования на Урале: Тез. докл. Свердловск, 1990. С. 105.

Тепикин С.В., Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Зависимость массы крон ели от диаметра и возраста дерева // *Лесная таксация и лесоустройство*. Красноярск, 1990. С. 41-46.

Токмурзин Т.Х., Байзаков С.В. Рекомендации по таксации надземной массы и освоению древесной зелени сосновых и еловых лесов Казахстана. Алма-Ата, 1970. 63 с.

Тюрин А.В., Науменко И.М., Воропанов П.В. Лесная вспомогательная книжка. М., 1945. 408 с.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск, 1985. 191 с.

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

Штибе У.Л. Количественные показатели элементов крон ели в спелых ельниках-кисличниках Латвийской ССР: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Елгава, 1967. 23 с.

Шербаков Н.М., Зайцева Н.Л. Биометрическая характеристика спелых ельников юга Карелии // *Лесные растительные ресурсы южной Карелии*. Петрозаводск, 1971. С.22-40.

Brown J.K. Predicting crown weights for 11 Rocky Mountain conifers // *Oslo biomass studies*. IUFRO. S4.01. Mensuration, growth and yield: Working party on the mensuration of the forest biomass. Orono, 1976. P.103 - 115.

Fiedler F. Die Dendromasse eines hiebsreifen Fichtenbestandes // *Beitr. Forstwirtschaft*. 1986. H.20. N 4. S.171 - 180.

Fiedler F., Welke L. Vorläufige Schätztabellen zur Dendromassbestimmung in jungen Fichtenbeständen // *Soz. Forstwirtschaft*. 1986. N 2. S.55-56.

Prodan M. Holzmeßlehre.- Frankfurt a.M., 1965. 644 s.

Schmitt M.D.C., Grigal D.F. Generalized biomass estimation equations for *Betula papyrifera* Marsh. // *Canad. J. Forest Res.* 1981. Vol.11. N 4. P.837-840.

Young H.E., Ribe J.H., Wainwright K. Weight tables for tree and shrub species in Maine. Orono, 1980. 84 p.