

# ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО



УДК 630\*231

**В.А. Усольцев, Д.С. Гаврилин, А.А. Маленко**  
**V.A. Usoltsev, D.S. Gavrilin, A.A. Malenko**

## СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ (*LARIX L.*) В ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ

### THE STRUCTURE OF LARCH (*LARIX L.*) TREE BIOMASS IN TRANSCONTINENTAL GRADIENTS OF EURASIA

**Ключевые слова:** *Larix L.*, фитомасса деревьев, фракции фитомассы, пробные площади, региональные различия, географические закономерности, биосферная роль лесов.

Впервые установлены трансконтинентальные зависимости фракционного состава фитомассы лиственницы (*Larix L.*) с учетом региональных различий деревьев по возрасту, высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев. Масса всех фракций дерева монотонно увеличивается в направлении с севера на юг. Динамика фитомассы 100-летних деревьев в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии различается по фракциям: масса ветвей, ствола, надземной и общей монотонно снижается, масса корней в том же направлении увеличивается, а масса хвои изменяется по колоколообразной кривой. Система полученных трансконтинентальных зависимостей даёт возможность ее регионального применения при оценке фитомассы лиственницы на 1 га на основе локальных данных перечета деревьев на единице площади древостоя.

**Keywords:** *Larix L.*, tree biomass, biomass components, sample plots, regional differences, geographical patterns, biosphere role of forests.

The transcontinental Eurasian dependences of biomass fractional composition of larch trees, taking into account regional differences of trees by age, height, stem diameter, and volume, as well as stand density are reported for the first time. The biomass of all tree components increases monotonically from the North to the South. The dynamics of tree biomass in the direction from the Atlantic and Pacific coasts to the pole of continentality in Yakutia varies by biomass components: the biomass of branches, stem, aboveground biomass and total biomass decreases monotonically but root biomass increases in the same direction and needle biomass changes according to a bell-shaped curve. The system of the reported transcontinental dependences may be applied regionally when evaluating the biomass of pine forests per area unit.

**Усольцев Владимир Андреевич**, д.с.-х.н., проф., Засл. лесовод России, каф. менеджмента, Уральский государственный лесотехнический университет; гл. н.с., Ботанический сад УрО РАН; г. Екатеринбург. Тел.: (343) 354-61-59. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

**Гаврилин Дмитрий Сергеевич**, соискатель степени к.с.-х.н., Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург. E-mail: kos96@bk.ru.

**Маленко Александр Анатольевич**, д.с.-х.н., зав. каф. лесного хозяйства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-63-52. E-mail: malenko51@mail.ru.

**Usoltsev Vladimir Andreyevich**, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Management, Ural State Forestry Engineering University; Chief Staff Scientist, Botanical Garden, Ural Branch, Rus. Acad. of Sci., Yekaterinburg. Ph.: (343) 354-61-59. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

**Gavrilin Dmitriy Sergeyevich**, Candidate degree applicant, Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg. E-mail: kos96@bk.ru.

**Malenko Aleksandr Anatolyevich**, Dr. Agr. Sci., Head, Chair of Forestry, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-63-52. E-mail: malenko51@mail.ru.

**Введение**

При оценке фитомассы насаждений в настоящее время общепринятым является регрессионный (аллометрический) метод, на основе которого рассчитываются аллометрические уравнения фитомассы по результатам взятия модельных деревьев, представленных во всем диапазоне диаметров стволов. Опубликованные аллометрические уравнения рассчитаны по фактическим данным о фитомассе многих сотен тысяч деревьев разных пород мира, однако эти исходные материалы недоступны для использования и географического анализа. Поэтому необходима база данных о фактической структуре фитомассы деревьев, полученной на лесных пробных площадях, на основе которой можно исследовать трансконтинентальные закономерности структуры фитомассы на уровне отдельного дерева. Такая база данных о фитомассе лиственницы в количестве 500 модельных деревьев нами сформирована с использованием 21 литературного источника.

В предыдущих сообщениях [1, 2] на основе сформированной базы данных в количестве 480 пробных площадей с определениями фитомассы и 116 пробных площадей с определениями годичной чистой первичной продукции (ЧПП) и фитомассы (т/га) лиственничников Евразии на территории от Великобритании до юга Китая установлены статистически значимые закономерности изменения ЧПП в направлении с севера на юг и в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Сибири. Цель исследования – установить закономерности изменения структуры фитомассы деревьев лиственницы (кг) по трансевразийским градиентам.

**Объекты и методы исследования**

Пробные площади, на которых выполнено определение фитомассы деревьев, соотношены с зональными поясами [3, 4] на карте-схеме Евразии (рис. 1) и с изоонтами (изолиниями равных индексов континентальности) на карте-схеме (рис. 2), рассчитанными по В. Ценкеру [5].

На основе содержательного анализа многофакторного массива исходных (эмпирических) данных фитомассы деревьев нами предложена структурная форма следующей регрессионной модели:

$$\ln P_i = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln Vt, \ln(Zon), \ln(ICC)), \quad (1)$$

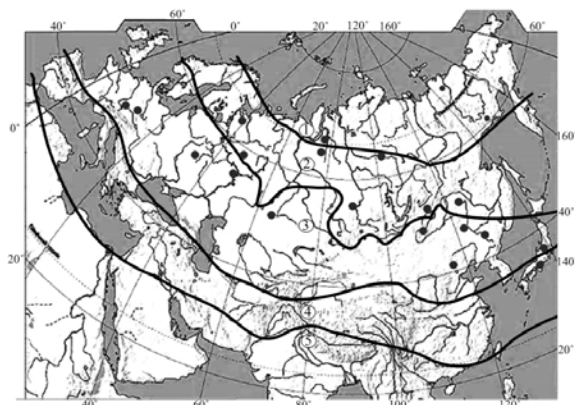
где  $P_i$  – фитомасса в абсолютно сухом состоянии стволов с корой, скелета ветвей, хвои, надземной части и корней (соответственно,  $P_{st}$ ,  $P_{br}$ ,  $P_f$ ,  $P_a$  и  $P_r$ ), кг;

$Vt$  – объем ствола в коре,  $дм^3$ ;

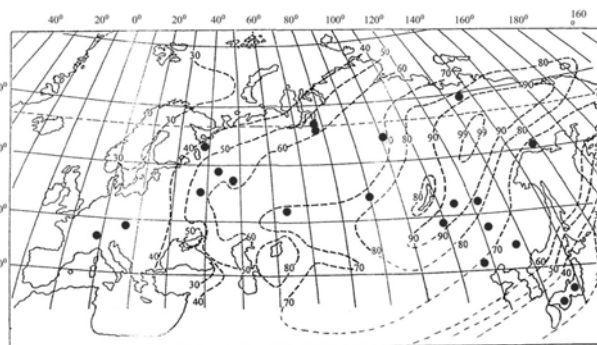
$A$  – возраст дерева, лет;

$H$  – высота дерева, м;

$D$  – диаметр ствола на высоте груди, см;  
 $N$  – число деревьев на 1 га;  
 $Zon$  – номер зонального пояса (рис. 1);  
 $ICC$  – индекс континентальности климата по Ценкеру-Борисову (рис. 2).



**Рис. 1. Распределение пробных площадей, на которых определена фитомасса деревьев лиственницы, по зональным поясам: 1 – субарктический; 2 – северный умеренный; 3 – южный умеренный; 4 – субтропический; 5 – субэкваториальный [3, 4]**



**Рис. 2. Карта-схема изолиний континентальности климата Евразии, рассчитанных А.А. Борисовым [5] по формуле В. Ценкера, с нанесенным положением пробных площадей, на которых выполнено определение фитомассы деревьев в лиственничных насаждениях**

При исследовании сложных систем изолированные оценки редко дают адекватные результаты. Обычно взаимосвязи в лесной экосистеме эффективнее описываются с помощью не одной, а нескольких характеристик, которые частично или полностью взаимозависимы. Математические зависимости, объединенные в единую логическую непротиворечивую концепцию, образуют систему связанных (рекурсивных) уравнений, основным достоинством которой является внутренняя согласованность описываемых закономерностей [6]. В этом случае в цепочке регрессионных уравнений, рассчитываемых в логически последовательном порядке, зависимая переменная предыдущего уравнения входит в последующее в качестве одной из независимых

переменных. В нашем случае сначала предсказываются массообразующие показатели дерева и древостоя, а затем на их основе – фитомасса.

Известно, что продуктивность древесного ценоза определяется по соотношению его возраста и высоты. Поэтому в качестве базовой была принята зависимость  $H = f(A)$ . Рекурсивный принцип регрессионного моделирования обеспечивает последовательное накопление возрастных трендов массообразующих показателей и фитомассы деревьев по цепочке взаимозависимых уравнений, когда региональные различия предшествующей зависимости кумулятивно накладываются на предыдущий результат, и завершается последовательность зависимостью  $P_i = f(A, H, D, N, Vt, Zon, ICC)$ . Итоговая система уравнений имеет общий вид:

$$\begin{aligned}
 H &= f(A, Zon, ICC) \rightarrow D = f(A, H, Zon, ICC) \rightarrow \\
 &\rightarrow N = f(A, H, D, Zon, ICC) \rightarrow \\
 &\rightarrow Vt = f(A, H, D, N, Zon, ICC) \rightarrow \\
 &\rightarrow P_i = f(A, H, D, N, Vt, Zon, ICC). \quad (2)
 \end{aligned}$$

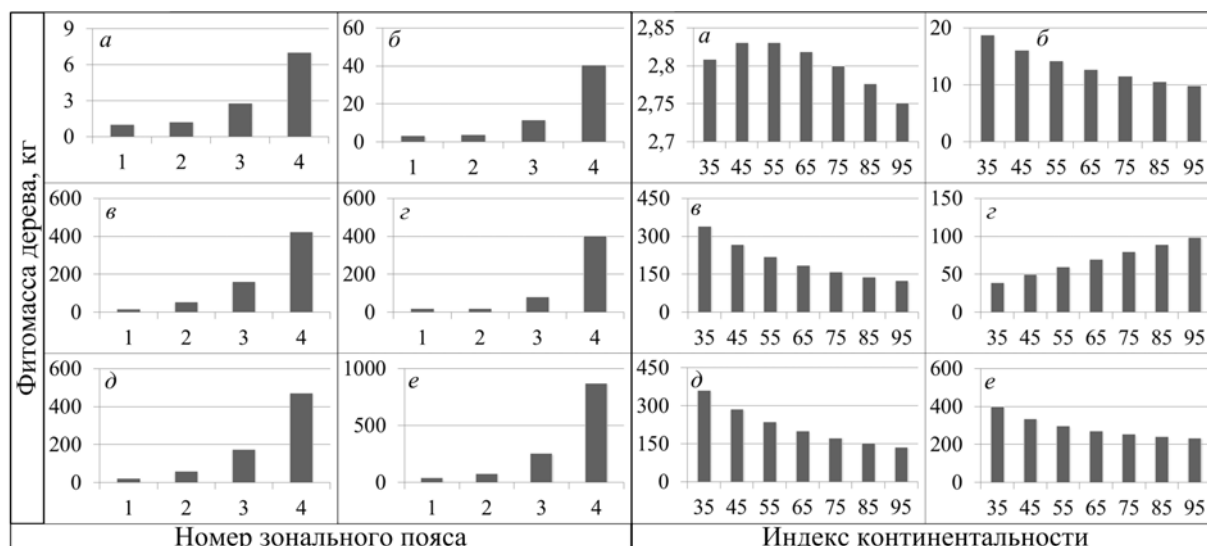
Все переменные подвергнуты логарифмической трансформации, поскольку без этой процедуры система уравнений (2) на крайних значениях независимых переменных даёт существенные искажения вследствие нелинейности исследуемых зависимостей [7, 8]. Чтобы фракционный состав расчетных значений фитомассы деревьев был сбалансирован (в соответствии с принципом аддитивности), показатель  $P_i$  в системе (2) модифицирован: он соответствует лишь надземной фитомассе  $P_a$ , а остальные фракции представлены отно-

сительными величинами  $(P_f/P_a)$ ,  $(P_{br}/P_a)$ ,  $(P_{st}/P_a)$  и  $(P_r/P_a)$ , выраженными в процентах к надземной фитомассе.

### Результаты и их обсуждение

В результате регрессионного анализа получена характеристика системы уравнений (2), согласно которой коэффициенты детерминации  $R^2$  составили: для  $H$ ,  $D$ ,  $N$  и  $Vt$  – соответственно, 0,547; 0,929; 0,790 и 0,993, а для  $P_a$ ,  $(P_f/P_a)$ ,  $(P_{br}/P_a)$ ,  $(P_{st}/P_a)$  и  $(P_r/P_a)$  – соответственно, 0,993; 0,704; 0,669; 0,651 и 0,746. Значения  $R^2$  уравнений (2) составили для  $Z_s$ ,  $Z_b$ ,  $Z_f$ ,  $Z_r$ ,  $Z_a$ ,  $Z_t$  и  $Z_u$ , соответственно, 0,692; 0,825; 0,966; 0,707; 0,842; 0,793 и 0,578. Все регрессионные коэффициенты при независимых переменных значимы на уровне  $P_{95}$ .

Полученная расчетом рекурсивная система уравнений (2) протабулирована в следующей последовательности. Вначале получены значения  $H$  по задаваемым величинам  $A$ ,  $Zon$ ,  $ICC$ , затем –  $D$  по полученным значениям  $H$  и тем же  $A$ ,  $Zon$ ,  $ICC$ , далее –  $N$  по полученным значениям  $H$  и  $D$  и тем же  $A$ ,  $Zon$ ,  $ICC$ , далее –  $Vt$  и, наконец,  $P_a$ ,  $(P_f/P_a)$ ,  $(P_{br}/P_a)$ ,  $(P_{st}/P_a)$  и  $(P_r/P_a)$  по полученным значениям предыдущих уравнений системы (2). Из полученных возрастных трендов  $P_a$ ,  $P_f$ ,  $P_{br}$ ,  $P_{st}$  и  $P_r$ , распределенных по четырем зональным поясам и в каждом – по значениям индексов континентальности в диапазоне от 35 до 95, взяты значения фитомассы для возраста 100 лет и построены графики (рис. 3, 4).



**Рис. 3.** Изменение расчетных показателей фитомассы деревьев лиственницы, кг: хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет по климатическим поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%

**Рис. 4.** Связь расчетных показателей фитомассы деревьев лиственницы (кг): хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет с индексом континентальности, по Ценкеру-Борисову, в южном умеренном климатическом поясе (номер 3 на рис. 1)

Масса всех фракций 100-летних деревьев монотонно увеличивается в направлении с севера на юг (рис. 3). Динамика фитомассы 100-летних деревьев в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии различается по фракциям: масса ветвей, ствола, надземной и общей монотонно снижается, масса корней в том же направлении увеличивается, а масса хвои изменяется по колоколообразной кривой (рис. 4).

#### Заключение

Таким образом, впервые установлены трансконтинентальные зависимости фракционного состава фитомассы деревьев лиственницы с учетом региональных различий деревьев по возрасту, высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев. Система полученных трансконтинентальных зависимостей (2) даёт возможность ее регионального применения при оценке фитомассы лиственницы на 1 га на основе локальных данных перечета деревьев на единице площади древостоя.

#### Библиографический список

1. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 406 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3303>).
2. Usoltsev V.A., Gavrilin D.S., Chasovskikh V.P., Noritsina Ju.V. Climatic gradiente biologico produttivita larice foreste Eurasia // Italian Science Review. – 2014. – Issue 4 (13). – P. 407-412. (<http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Usolcev.pdf>).
3. Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. – М.: МГУ, 1974. – 300 с.
4. Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Картосхемы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. Всесоюзн. географ. общества. – 1967. – Т. 99. – № 3. – С. 190-194.
5. Борисов А.А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1967. – 296 с.
6. Furnival G.M., Wilson R.W. Systems of equations for predicting forest growth and yield. In: Patil G.P., Pielou E.C., Walters W.E. (Eds.) Statistical Ecology. – 1971. – Vol. 3. – Penn State University Press. – P. 43-57.
7. Usoltsev V.A. О применении регрессионного анализа в лесоводственных задачах // Лесная таксация и лесоустройство: международн. науч.-практ. журн. – 2004. – № 1 (33). – С. 49-55.
8. Usoltsev V.A., Somogyi Z., Chasovskikh V.P., Noritsina Yu.V. Climatic Gradients of Biomass and Net Primary Production of Mixed Picea-Abies Forests in Eurasia // Environment and Natural Resources Research. – 2014. – Vol. 4 (2). – P. 102-114.

#### References

1. Usol'tsev V.A. Fitomassa lesov Severnoi Evrazii: predel'naya produktivnost' i geografiya. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. – 406 s. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3303>).
2. Usoltsev V.A., Gavrilin D.S., Chasovskikh V.P., Noritsina Ju.V. Climatic gradiente biologico produttivita larice foreste Eurasia // Italian Science Review. – 2014. – Issue 4 (13). – P. 407-412. (<http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Usolcev.pdf>).
3. Alisov B.P., Poltarauus B.V. Klimatologiya. – M.: MGU, 1974. – 300 s.
4. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Kartoskhemy produktivnosti i biologicheskogo krugovorota glavneishikh tipov rastitel'nosti sushi // Izv. Vsesoyuzn. geograf. obshchestva. – 1967. – T. 99. – № 3. – S. 190-194.
5. Borisov A.A. Klimaty SSSR. – M.: Prosveshchenie, 1967. – 296 s.
6. Furnival G.M., Wilson R.W. Systems of equations for predicting forest growth and yield. In: Patil G.P., Pielou E.C., Walters W.E. (Eds.) Statistical Ecology. – 1971. – Vol. 3. – Penn State University Press. – P. 43-57.
7. Usol'tsev V.A. О primenenii regressionnogo analiza v lesovodstvennykh zadachakh // Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo (mezhdunar. nauchno-praktich. zhurn.). – 2004. – № 1 (33). – S. 49-55.
8. Usoltsev V.A., Somogyi Z., Chasovskikh V.P., Noritsina Yu.V. Climatic Gradients of Biomass and Net Primary Production of Mixed Picea-Abies Forests in Eurasia // Environment and Natural Resources Research. – 2014. – Vol. 4 (2). – P. 102-114.

