

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО



УДК 630*231

В.А. Усольцев, Д.В. Норичин, А.А. Маленко
V.A. Usoltsev, D.V. Noritsin, A.A. Malenko

СТРУКТУРА И ГЕОГРАФИЯ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ (*PICEA* SP.) И ПИХТЫ (*ABIES* SP.) В ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ

THE STRUCTURE AND GEOGRAPHY OF SPRUCE (*PICEA* SP.) AND FIR (*ABIES* SP.) TREE BIOMASS IN TRANSCONTINENTAL GRADIENTS OF EURASIA

Ключевые слова: *Picea* sp., *Abies* sp., фитомасса деревьев, фракции фитомассы, пробные площади, региональные различия, географические закономерности, биосферная роль лесов.

Впервые установлены трансконтинентальные зависимости фракционного состава фитомассы деревьев ели (*Picea* sp.) и пихты (*Abies* sp.) с учетом региональных различий деревьев по возрасту, высоте, диаметру и объему ствола, а также по густоте древостоев, на основе рекуррентной системы многофакторных регрессионных уравнений. Между показателями фитомассы деревьев ели и пихты статистически значимых различий не выявлено, и их географический анализ выполнен совместно. Установлена колоколообразная закономерность изменения надземной и общей фитомассы деревьев ели и пихты по зональным поясам северного полушария, что противоречит закономерности синхронного снижения биологической продуктивности лесного покрова в направлении от тропиков к обоим полюсам. Возможная причина такого несоответствия состоит в том, что в зональных поясах с 2-го по 3-й увеличение фитомассы деревьев, произрастающих на плакорах, происходит вследствие повышения суммы эффективных температур, а в зональных поясах с 3-го по 4-й происходит снижение фитомассы вследствие подъема деревьев ели пурпурной (*Picea purpurea* Mast.) вверх по высотному градиенту. Динамика фитомассы 100-летних деревьев в направлении от тихоокеанского и атлантического побережий к полюсу континентальности в Якутии

характеризуется монотонным снижением всех фракций, за исключением корней и ветвей.

Keywords: *Picea* sp., *Abies* sp., tree biomass, biomass components, sample plots, regional differences, geographical patterns, biosphere role of forests.

Transcontinental Eurasian dependences of biomass fractional composition of *Picea* sp. and *Abies* sp. trees taking into account the regional differences of trees by their age, height, stem diameter and stand density are reported for the first time making use of the recurrent system of multiple regressions. Any statistically significant differences between spruce and fir tree biomass were not revealed and their geographical analysis was conducted jointly. A bell-shaped pattern of the changes in aboveground and total biomass of spruce and fir trees has been revealed in the zonal belts of the northern hemisphere, that contradicts to the pattern of simultaneous reduction of the biological productivity of forest cover in the direction from the tropics to both poles. A possible reason for this discrepancy is that the increase of the biomass of trees growing on upland soils between the 2nd and 3rd zonal belts occurs due to increased amount of effective temperatures, but between the 3rd and 4th zonal belts *Picea purpurea* Mast. the tree biomass declines owing to their rising up the altitudinal gradient. The biomass dynamics of 100-year-old trees in the direction from the Pacific and Atlantic coasts to the pole of continentality in Yakutia is characterized by a monotonic decrease of all components except for roots and branches.

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.

Норицин Денис Витальевич, соискатель степени к.с.-х.н., Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург. E-mail: norritsin@mail.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.

Noritsin Denis Vitalyevich, Candidate degree applicant, Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg. E-mail: norritsin@mail.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

Для оценки биологической продуктивности лесов необходима база данных о фактической структуре фитомассы деревьев (кг), полученной на лесных пробных площадях. Ранее [1, 2] нами были составлены базы данных о фитомассе модельных деревьев лиственницы и двухвойных сосен (подрод *Pinus*) в количестве, соответственно, 500 и 2540 модельных деревьев и приведены результаты их анализа. Цель исследования – сформировать базу данных о фитомассе (кг) модельных деревьев ели (*Picea* sp.) и пихты (*Abies* sp.) и на её основе установить закономерности изменения структуры их фитомассы по трансевразийским климатическим градиентам.

Объекты и методы исследования

Сформированная нами база данных о фитомассе ели и пихты включает, соответственно, 926 и 109 модельных деревьев. Пробные площади, на которых выполнено определение фитомассы деревьев ели и пихты, позиционированы нами по зональным поясам [3] на карте-схеме Евразии (рис. 1) и соотнесены с индексом континентальности на карте-схеме изоконт (рис. 2), рассчитанных по В. Ценкеру [4]. Между показателями фитомассы деревьев ели и пихты статистически значимых различий не выявлено [5], они сведены в общий массив.

Предложена структурная форма регрессионной модели:

$$\ln Pa \text{ или } \ln((Pi/Pa)100) = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln(Zon), \ln(ICC)), \quad (1)$$

где Pa – надземная фитомасса дерева в абсолютно сухом состоянии, кг;

Pi – фитомасса стволов с корой, скелета ветвей, хвои и корней (соответственно, Pst , Pbr , Pf и Pr), кг; $(Pi/Pa)100$ – доля i -й фракции в надземной фитомассе, %;

A – возраст дерева, лет; H – высота дерева, м;

D – диаметр ствола на высоте груди, см;

N – густота древостоя, тыс. экз/га;

Zon – номер зонального пояса (рис. 1);

ICC – индекс континентальности климата по Ценкеру-Борисову (рис. 2).

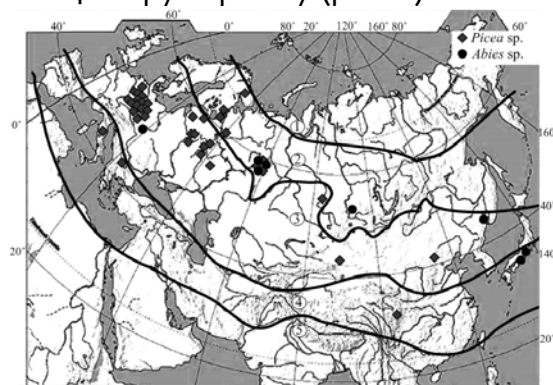


Рис. 1. Распределение пробных площадей, на которых определена фитомасса деревьев ели и пихты по зональным поясам:

- 1 – субарктический;
- 2 – северный умеренный;
- 3 – южный умеренный; 4 – субтропический;
- 5 – субэкваториальный [3]

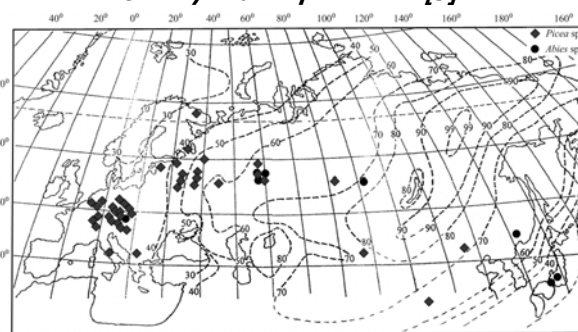


Рис. 2. Карта-схема изолиний континентальности климата Евразии, рассчитанных А.А. Борисовым [4] по упрощенной формуле В. Ценкера с нанесенным положением пробных площадей, на которых выполнено определение фитомассы деревьев в елово-пихтовых насаждениях

Итоговая система рекурсивных уравнений имеет общий вид:

$$H = f(A, Zon, ICC) \rightarrow D = f(A, H, Zon, ICC) \rightarrow N = f(A, H, D, Zon, ICC) \rightarrow Pa$$

или $(Pi/Pa)100 = f(A, H, D, N, Zon, ICC). \quad (2)$

Результаты и их обсуждение

Результаты последовательного расчета констант уравнений (2) сведены в таблице, согласно которой коэффициенты детерминации R^2 составили: для H , D и N – соответственно, 0,723; 0,937 и 0,450, а для Pa , (Pf/Pa) , (Pbr/Pa) , (Pst/Pa) и (Pr/Pa) – соответственно, 0,981; 0,762; 0,580; 0,792 и 0,305. Все регрессионные коэффициенты при независимых переменных значимы на уровне P_{95} . Рекурсивная система уравнений (2) протабулирована в последовательности, показанной стрелками, и получены возрастные тренды фракций фитомассы деревьев, скорректированные влиянием A , H , D , N , Zon , ICC . Из полученных возрастных трендов Pa , Pf , Pbr , Pst и Pr , распределенных по трём зональным поясам и в каждом – по значениям индексов континентальности в

диапазоне от 35 до 95, взяты значения фитомассы деревьев для возраста 100 лет и построены графики (рис. 3, 4). Поскольку совокупная доля хвои, ветвей и ствола (соответственно, Pf/Pa , Pb/Pa и Ps/Pa) в надземной фитомассе не равна в итоге 100% вследствие стохастической природы полученных зависимостей и наличия существенных стандартных ошибок SE , уравнение для Pb/Pa было опущено, и масса ветвей получена по разности $(Pa) - (Pf + Ps)$.

Известны закономерности синхронного снижения биологической продуктивности лесного покрова в направлении от тропиков к обоим полюсам [6, 7]. Это противоречит колоколообразной закономерности изменения надземной и общей фитомассы деревьев ели и пихты по зональным поясам северного полушария (рис. 3).

Таблица 1

Характеристика уравнений (2)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные											Коэффициент детерминации R^2	Стандартная ошибка уравнения SE
	a_0	a_1 ($\ln A$)	a_2 ($\ln A^2$)	a_3 ($\ln H$)	a_4 ($\ln H^2$)	a_5 ($\ln D$)	a_6 ($\ln D^2$)	a_7 ($\ln N$)	$a_8 \ln(Zon)$	$a_9 \ln(Zon)^2$	$a_{10} \ln(ICC)$		
$\ln(H)$	-7,4652	2,9657	-0,2710	-	-	-	-	-	6,4783	-2,9873	-0,2186	0,723	0,50
$\ln(D)$	3,2450	-0,9697	0,1297	1,1084	-	-	-	-	-3,6418	1,8659	-	0,937	0,24
$\ln(N)$	10,033	-0,4444	-	0,4489	-0,2026	-	-	-	-6,9833	3,4051	-1,0998	0,450	0,64
$\ln(Pa)$	-0,9762	-0,0624	-	-1,4474	0,4432	1,8078	-	-0,0211	-0,3527	-	0,2276	0,981	0,28
$\ln((Pf/Pa)100)$	7,1426	-2,0334	0,2106	-0,5837	-	0,3304	-	0,0743	-0,4321	-	0,2558	0,762	0,31
$\ln((Pbr/Pa)100)$	1,2928	-0,0890	-	1,0142	-0,3988	-0,3582	0,1522	-0,0471	-0,2641	-	0,4995	0,580	0,39
$\ln((Pst/Pa)100)$	1,7943	1,0009	-0,1076	0,3899	-	-0,2014	-	0,0282	0,2269	-	-0,1299	0,792	0,14
$\ln((Pr/Pa)100)$	0,2184	0,3992	-	-0,2443	-	0,1747	-	-	-3,2565	1,8121	0,7659	0,305	0,34

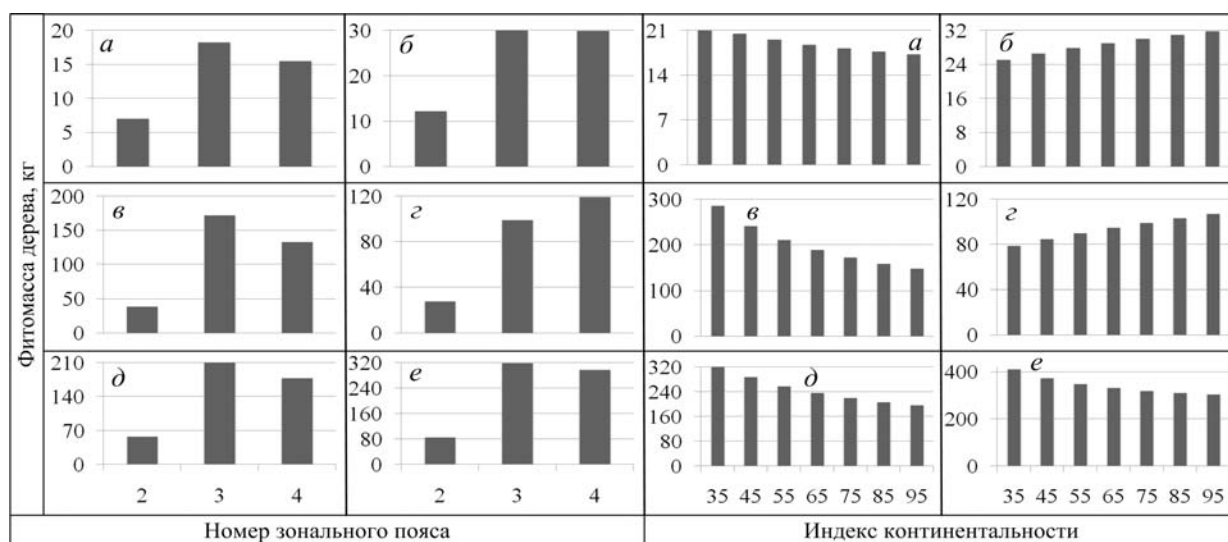


Рис. 3. Изменение расчетных показателей фитомассы деревьев ели и пихты, кг: хвои (а), ветвей (б), стволов (в), корней (г), надземной (д) и общей (е) в возрасте 100 лет по климатическим поясам при индексе континентальности климата по Ценкеру-Борисову, равном 75%

Рис. 4. Связь расчетных показателей фитомассы деревьев ели и пихты (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)

Возможная причина такого несоответствия состоит в том, что в зональных поясах со 2-го по 3-й увеличение фитомассы деревьев, произрастающих на плакорах, происходит вследствие повышения суммы эффективных температур, а в зональных поясах с 3-го по 4-й, несмотря на дальнейшее повышение суммы эффективных температур на плакорах, происходит снижение фитомассы вследствие подъема деревьев ели пурпурной (*Picea purpurea* Mast.) вверх по высотному градиенту, сопровождаемому снижением суммы эффективных температур: в провинции Сычуань в Китае они произрастают на высоте 3600-4000 м над уровнем моря. Динамика фитомассы 100-летних деревьев в направлении от тихоокеанского и атлантического побережий к полюсу континентальности в Якутии характеризуется монотонным снижением всех фракций, за исключением корней и ветвей (рис. 4).

Закключение

Таким образом, впервые установлены трансконтинентальные градиенты фракционного состава фитомассы деревьев ели и пихты с учетом региональных различий деревьев по возрасту, высоте и диаметру ствола, а также по густоте древостоев. Система полученных трансконтинентальных уравнений даёт возможность ее регионального использования при оценке фитомассы ели и пихты на 1 га на основе локальных данных перечета деревьев на единице площади.

Библиографический список

1. Усольцев В.А., Гаврилин Д.С., Маленко А.А. Структура фитомассы деревьев лиственницы (*Larix* L.) в трансконтинентальных градиентах Евразии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 9 (131). – С. 66-69.
2. Усольцев В.А., Субботин К.С., Колтунова А.И., Азарёнок В.А. Изменение структуры фитомассы деревьев сосны (подрод *Pinus*) в трансконтинентальных градиентах Евразии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (54). – С. 191-193 (<http://orensau.ru/ru/nauka/izvestija>).
3. Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. – М.: МГУ, – 1974. – 300 с.

(www.alib.ru/bs.php4?uid=1890a134995071f8852fadeb1db625493c21).

4. Борисов А.А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1967. – 296 с.
5. Усольцев В.А., Часовских В.П., Норичин Д.В. Возрастная динамика и структура фитомассы деревьев ели и пихты в лесах Евразии // Эко-потенциал. 2015. № 4 (12). С. 10-12.
6. Anderson K.J., Allen A.P., Gillooly J.F., Brown J.H. Temperature-dependence of biomass accumulation rates during secondary succession // Ecology Letters. – 2006. – Vol. 9 (6). – P. 673-682.
7. Huston M.A., Wolverton S. The global distribution of net primary production: resolving the paradox // Ecological Monographs. – 2009. – Vol. 79 (3). – P. 343-377.

References

1. Usol'tsev V.A., Gavrilin D.S., Malenko A.A. Struktura fitomassy derev'ev listvennitsy (*Larix* L.) v transkontinental'nykh gradientakh Evrazii // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 9 (131). – S. 66-69.
2. Usol'tsev V.A., Subbotin K.S., Koltunova A.I., Azarenok V.A. Izmenenie struktury fitomassy derev'ev sosny (podrod *Pinus*) v transkontinental'nykh gradientakh Evrazii // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 4 (54). – S. 191-193.
3. Alisov B.P., Poltarauus B.V. Klimatologiya. – M.: MGU, 1974. – 300 s.
4. Borisov A.A. Klimaty SSSR. – M.: Prosveshchenie, 1967. – 296 s.
5. Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P., Noritsin D.V. Vozrastnaya dinamika i struktura fitomassy derev'ev eli i pikhty v lesakh Evrazii // Eko-potentsial. – 2015. – № 4 (12). – S. 10-12.
6. Anderson K.J., Allen A.P., Gillooly J.F., Brown J.H. Temperature-dependence of biomass accumulation rates during secondary succession // Ecology Letters. – 2006. – Vol. 9 (6). – P. 673-682.
7. Huston M.A., Wolverton S. The global distribution of net primary production: resolving the paradox // Ecological Monographs. – 2009. – Vol. 79 (3). – P. 343-377.

