



УДК 630*231 **В.А. Усольцев, Д.С. Гаврилин, А.А. Маленко, А.В. Борников**
V.A. Usoltsev, D.S. Gavrilin, A.A. Malenko, A.V. Bornikov

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛИСТВЕННИЦЫ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ ЕВРАЗИИ

BIOLOGICAL PRODUCTION OF LARCH FORESTS IN DIFFERENT REGIONS OF EURASIA

Ключевые слова: надземная фитомасса, годовичная продукция, фракции фитомассы, пробные площади, региональные различия, географические закономерности, блок-фиктивные переменные.

Установлено, что по фитомассе и годичной продукции лиственничники Евразии имеют существенные различия, которые определяются различиями в климате, густоте и происхождении (естественное или искусственное). Лиственница, произрастающая на северном и южном пределах ареала, характеризуется наибольшей эффективностью «работы» хвои – от 3,0 до 3,5 т/т, а в остальных регионах относительная продуктивность хвои находится на уровне от 1,4 до 2,2 т/т. Экстремальные условия произрастания на севере и юге обуславливают разные «стратегии выживания»: загущенное состояние в силу действия «принципа Олли» в сухой степи и разреженное состояние из-за нехватки жизненных ресурсов и корневой конкуренции на мерзлоте. Экстремальность условий произрастания стимулирует высо-

кую эффективность «работы» ассимиляционного аппарата лиственницы.

Keywords: aboveground biomass, annual production, biomass components, sample plots, regional differences, geographical patterns, block dummy variables.

It is revealed that larch forests have different values of biomass and primary production in Eurasian regions caused by the differences in climate, stand density and origin. Larch stands growing at the northern and southern zonal limits are characterized by the maximum needles' production – from 3.0 to 3.5 t t, while in other regions the relative needles' productivity is at the level from 1.4 to 2.2 t t. Extreme growth conditions in the north and south cause different "survival strategies", namely too dense state due to Allee's principle in dry steppe and scattered state because of the shortage of vital resources and root competition on permafrost. The extreme growth conditions stimulate the high effectiveness of larch assimilation.

Усольцев Владимир Андреевич, д.с.-х.н., проф., каф. менеджмента, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

Гаврилин Дмитрий Сергеевич, аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

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

Борников Александр Вячеславович, к.с.-х.н., зав. каф. лесоводства, Оренбургский государственный аграрный университет. Тел. (3532) 777-194. E-mail: Koltunova47@mail.ru.

Usoltsev Vladimir Andreyevich, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Management, Ural State Forestry Engineering University. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

Gavrilin Dmitriy Sergeevich, Post-Graduate Student, Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg. E-mail: Usoltsev50@mail.ru.

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

Bornikov Aleksandr Vyacheslavovich, Cand. Agr. Sci., Head, Chair of Forestry, Orenburg State Agricultural University. Ph.: (3532) 777-194. E-mail: Koltunova47@mail.ru.

Введение

Роль лесов в поддержании глобального углеродного баланса и климата определяется интенсивностью связывания ими атмосферной

углекислоты, или годичной продукцией фитомассы. Данных о годичной продукции фитомассы по ее фракционному составу на порядок меньше, чем о наличном запасе фи-

томассы, поэтому любые новые сведения о годичной продукции насаждений актуальны.

Первые сведения о годичной продукции и фитомассе лиственничников, распределенной по фракциям (ствол, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы), появились в Японии [1, 2]), затем – в России [3] и Китае [4]. Сегодня Евразия представлена такими данными в количестве 106 пробных площадей, заложенных в лиственничниках разного возраста (от 14 до 380 лет) и условий произрастания (от Ia до Vv классов бонитета). Методическими указаниями МБП рекомендовалась закладка пробных площадей в типичных «фоновых» местообитаниях, репрезентативных по отношению к данному типу сообществ [5]. Если считать упомянутые пробные площади репрезентативными, то можно сделать предварительный анализ географических закономерностей биопродуктивности лиственничников. Работа посвящена анализу структуры фитомассы и годичной продукции лиственницы в разных природных зонах.

Объекты и методы исследования

Наши исследования проведены в Тургайском прогибе в чистых 40-41-летних культурах лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) на территории Боровского лесхоза Кустанайской области (Северный Казахстан, 53⁰ с.ш., 64⁰ в.д.) в условиях сухой степи (годовые осадки 250 мм), где заложено 10 пробных площадей и взято по ступеням толщины 28 модельных деревьев. Для географического анализа фитомассы и годичной продукции нами привлечены материалы базы данных В.А. Усольцева в следующем количестве: для европейской территории России (*L. sukaczewii* N. Dyl.) – 6 пробных площадей, для лесотундры Западной Сибири (*L. sibirica* Ldb.) – 6 пробных площадей,

якутского Среднесибирского плоскогорья (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.) – 11, Северо-Восточного Китая (*L. sibirica* Ldb.) – 11 пробных площадей и там же (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.) – 50 и для Центрального Китая (*L. Principis-ruprechtii* Mayr) – 12 пробных площадей [6].

Лиственница имеет специфические биологические особенности по сравнению с другими породами, что потребовало внесения некоторых поправок в ранее применявшуюся методику фракционирования фитомассы кроны [7]. У лиственницы хвоей покрыта вся ветвь, причем периферия ветви и ее остальная (приствольная) часть охвоены в разной степени, поэтому хвоя у них определялась отдельно. Более детально методика определения фитомассы разных фракций модельных деревьев лиственницы представлена ранее [8]. Результаты определения фитомассы и годичной продукции лиственницы на 10 пробных площадях приведены в таблице 1.

Результаты и обсуждение

В лесной экологии многие явления характеризуются лишь на описательном уровне, что создает проблему при оценке географических закономерностей распределения полученных на пробных площадях данных о биологической продуктивности лесных деревьев и насаждений. Чтобы «гармонизировать», или согласовать, между собой регрессионные модели биологической продуктивности насаждений разных экорегионов, их объединяют в некую систему, например, с помощью блоковых фиктивных переменных [9]. Эта система дает возможность оценить степень «дистанцирования» показателей фитомассы деревьев по различным экорегионам.

Таблица 1

Фактические данные фитомассы и годичной продукции в культурах лиственницы сибирской Тургайского прогиба (обозначения см. в тексте)

№ п/п	А, лет	N, шт/га	M, м ³ /га	Фитомасса древостоев, т/га				Годичный прирост фитомассы, т/га			
				стволы	ветви	хвоя	всего	стволы	ветви	хвоя	всего
1	41	1516	498	209,9	17,62	4,28	260,6	2,38	1,90	4,28	8,92
2	41	811	275	109,2	15,11	3,39	146,2	1,57	1,00	3,39	6,19
3	40	1600	410	168,6	15,19	6,42	217,1	1,85	1,22	6,42	9,79
4	40	1633	326	135,5	21,53	7,67	187,2	1,83	1,45	8,08	11,65
5	40	1825	398	167,3	15,40	3,53	210,5	1,99	1,70	3,53	7,51
6	40	1200	297	116,7	14,33	4,00	155,6	1,66	1,01	4,00	6,92
7	40	2350	391	180,1	15,63	6,57	232,2	2,03	1,34	6,57	10,28
8	40	1750	343	142,6	22,25	7,90	196,5	1,92	1,51	8,36	12,09
9	40	1950	468	228,9	22,20	6,26	289,8	2,68	1,58	6,26	10,91
10	40	1475	365	143,4	17,66	4,94	191,2	2,05	1,25	4,94	8,54

Для оценки региональных смещений в показателях биологической продуктивности лиственницы применена регрессионная модель, структура которой получила обоснование в нашей предыдущей работе [10]:

$$\begin{aligned} \ln M &= a_0 + a_1 \ln A + a_2 X_1 + \dots + a_8 X_6 \rightarrow \\ \rightarrow \ln P_i &= a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln M + a_3 X_1 + \dots + a_9 X_6 \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Z_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln P_i + \\ &\quad + a_3 X_1 + \dots + a_9 X_6, \end{aligned} \quad (1)$$

где M – запас древостоя, $m^3/га$;

P_i – масса i -й фракции древостоя (P_s, P_b, P_f – соответственно, стволов, ветвей, хвои), кг;

A – возраст, лет;

Z_i – годичный прирост фитомассы древостоя (Z_s, Z_b, Z_f – соответственно, стволов, ветвей, хвои), кг;

X_1, \dots, X_6 – блок-фиктивные переменные [9]. Посредством названных переменных выполнена кодировка принадлежности локальных массивов данных о фитомассе и годичной продукции лиственничников по схеме, представленной в таблице 2.

В результате обработки фактических данных пробных площадей получено уравнение для запаса

$$\begin{aligned} \ln M &= 3,758 + 0,584 \ln A - 0,529 X_1 - \\ &\quad - 2,658 X_2 - 3,070 X_3 - 0,775 X_4 - \\ &\quad - 1,215 X_5 - 0,927 X_6. \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристика уравнений (1) для фитомассы и годичной продукции дана, соответственно, в таблицах 3 и 4.

Количественную характеристику региональных различий биологической продуктивности лиственничников дают данные таблицы 5, полученные путем табулирования уравнений (1) по задаваемым значениям возраста, запаса древостоя, фитомассы, или ее годичной продукции, и блок-фиктивных переменных (табл. 1).

Из цифровых данных таблицы 5 следует, что по надземной фитомассе 40-летние культуры лиственницы в Тургайском прогибе превышают естественные лиственничники того же возраста на вечной мерзлоте в 12-17 раз, лиственницу Сукачёва в европейской России – на 24% и лиственницу, произрастающую в разных климатических поясах Китая, – в 2-3 раза.

Масса (и годичный прирост) хвои лиственницы в Тургае больше, чем на мерзлоте, в 10-11 раз, по сравнению с лиственницей европейской России она больше на 37%, примерно одинаковая с лиственницей сибирской Северо-Восточного Китая и вдвое больше, чем у лиственницы Гмелина в Северо-Восточном Китае и лиственницы Принца Рупрехта – в Центральном Китае.

Отношение общего прироста надземной фитомассы к годичной массе (приросту) хвои составило по регионам: 1 – 1,6; 2 – 3,0; 3 – 3,5; 4 – 2,1; 5 – 1,4; 6 – 2,2; 7 – 3,1 т/т. Это показатель, характеризующий эффективность функционирования ассимиляционного аппарата.

Таблица 2

Схема кодирования массивов данных блок-фиктивными переменными

Регион и древесный вид	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Тургайский прогиб (лиственница сибирская)	0	0	0	0	0	0
Европейская территория РФ (лиственница Сукачёва)	1	0	0	0	0	0
Лесотундра Западной Сибири (лиственница сибирская)	0	1	0	0	0	0
Среднесибирское плоскогорье (лиственница Гмелина)	0	0	1	0	0	0
Северо-Восточный Китай (лиственница сибирская)	0	0	0	1	0	0
Северо-Восточный Китай (лиственница Гмелина)	0	0	0	0	1	0
Центральный Китай (лиственница Принца Рупрехта)	0	0	0	0	0	1

Таблица 3

Характеристика уравнений (1) для фитомассы древостоев

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$
$\ln(P_s)$	-0,7321	0,1456	0,1574	0,2292	0,0694	0,1633
$\ln(P_b)$	-2,0835	1,1612	0,1180	0,2329	0,3010	0,1239
$\ln(P_f)$	-2,5720	0,1086	-0,2825	0,1690	0,5700	0,2707
	$a_6 X_6$	$a_7 \ln(A)$	$a_8 \ln(M)$	R^2	SE	
$\ln(P_s)$	0,0225	-0,0473	1,0070	0,967	0,15	
$\ln(P_b)$	0,0489	-0,1092	0,9036	0,876	0,28	
$\ln(P_f)$	0,0067	-0,1345	0,7992	0,817	0,34	

Таблица 4

Характеристика уравнений (1) для годичной продукции древостоев*

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					
	a_0	a_1X_1	a_2X_2	a_3X_3	a_4X_4	a_5X_5
$\ln(Zs)$	-0,3855	0,9419	1,0155	0,7677	0,3728	1,1310
$\ln(Zb)$	0,0930	0,5544	0,4231	-0,6694	-1,7248	-0,6557
	a_6X_6	$a_7\ln(A)$	$a_8\ln(Ps)$	$a_9\ln(Pb)$	R^2	SE
$\ln(Zs)$	1,5959	-0,7781	0,7799	-	0,877	0,32
$\ln(Zb)$	-0,4202	-0,4906	-	0,7111	0,840	0,38

* Уравнение для Zf то же, что для Pf .

Таблица 5

Расчетные показатели фитомассы и годичной продукции 40-летних лиственничников в разных экорегионах (обозначения см. в тексте)

№ региона (табл. 1)	M	Фитомасса, т/га				Годичная продукция, т/га			
		Ps	Pb	Pf	итого	Zs	Zb	Zf	итого
1	370	156	17,4	5,25	178,4	1,98	1,37	5,25	8,60
2	218	106	34,5	3,84	144,1	3,75	3,88	3,84	11,5
3	26	12,5	1,8	0,47	14,8	0,76	0,41	0,47	1,65
4	17	8,9	1,4	0,53	10,8	0,46	0,12	0,53	1,11
5	171	77	11,7	5,00	93,2	1,65	0,18	5,00	6,83
6	110	54	6,6	2,61	63,1	2,68	0,36	2,61	5,64
7	146	63	7,9	2,52	73,0	4,79	0,51	2,52	7,82

Выводы

1. Как по фитомассе, так и по годичной продукции лиственничники Евразии имеют существенные различия, которые определяются различиями в климате, густоте и происхождении (естественное или искусственное).

2. Лиственница, произрастающая на северном и южном пределах ареала, характеризуется наибольшей эффективностью «работы» хвои – от 3,0 до 3,5 т/т, а в остальных регионах относительная продуктивность хвои находится на уровне от 1,4 до 2,2 т/т. Экстремальные условия произрастания на севере и юге обуславливают разные «стратегии выживания»: загущенное состояние в силу действия «принципа Олли» в сухой степи [11] и разреженное состояние из-за нехватки жизненных ресурсов и корневой конкуренции на мерзлоте [12]. Экстремальность условий произрастания стимулирует высокую эффективность «работы» ассимиляционного аппарата лиственницы.

Библиографический список

1. Hattiya K., Tochiaki K., Fujimori T. Analysis on the growth of a young larch (*Larix leptolepis*) plantation with excessively high stand density // J. Jpn. For. Soc. – 1966. – Vol. 48. – No 12. – P. 445-448.
 2. Satoo T. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems // Misc. Inform.

Tokyo Univer. Forests. – 1966. – Vol. 16. – P. 1-15.

3. Говоренков Б. Ф. Круговорот элементов между растительностью и почвой в сосняке и лиственничнике на Карельском перешейке // География, генезис и плодородие почв: сб. трудов Центр. музея почвоведения им. В.В. Докучаева. – Л.: 1972. – Вып. 5. – С. 103-130.

4. Feng Lin and Yang Yugong. A study on biomass and production of three types of Dahurian larch virgin forest // Scientia Silvae Sinicae. – 1985. – Vol. 21. – No 1. – P. 86-92 (кит.).

5. Программа-минимум по определению первичной биологической продуктивности наземных растительных сообществ (проект) // Растительные ресурсы. – 1967. – Т. 3. – Вып. 4. – С. 612-620.

6. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 570 с.

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

8. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 636 с.

9. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

10. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 708 с.

11. Усольцев В.А., Маленко А.А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации // Ботанические исследования в Сибири. – 2008. – Вып. 16. – С. 136-164.

12. Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В. Очерки по теории лесной популяционной биологии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 273 с.

References

1. Hatiya K., Tochiaki K., Fujimori T. Analysis on the growth of a young larch (*Larix leptolepis*) plantation with excessively high stand density // J. Jpn. For. Soc. – 1966. – Vol. 48. – No. 12. – P. 445-448.

2. Satoo T. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems // Misc. Inform. Tokyo Univer. Forests. – 1966. – Vol. 16. – P. 1-15.

3. Govorenkov B.F. Krugovorot elementov mezhdru rastitel'nost'yu i pochvoi v sosnyake i listvennichnike na Karel'skom peresheike // Geografiya, genesis i plodorodie pochv / Sb. trudov Tsentra muzeya pochvovedeniya im. V.V. Dokuchaeva. – Vyp. 5. – L.: 1972. – S. 103-130.

4. Feng Lin and Yang Yugong. A study on biomass and production of three types of Dahurian larch virgin forest // Scientia Silvae Sinicae. – 1985. – Vol. 21. – No. 1. – P. 86-92.

5. Programma-minimum po opredeleniyu pervichnoi biologicheskoi produktivnosti nazemnykh rastitel'nykh soobshchestv (proekt) // Rastitel'nye resursy. – 1967. – T. 3. – Vyp. 4. – S. 612-620.

6. Usol'tsev V.A. Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2010. – 570 s.

7. Usol'tsev V.A. Modelirovanie struktury i dinamiki fitomassy drevostoev. – Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 1985. – 191 s.

8. Usol'tsev V.A. Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoi Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. – 636 s.

9. Dreiper N., Smit G. Prikladnoi regressionnyi analiz. – M.: Statistika, 1973. – 392 s.

10. Usol'tsev V.A. Fitomassa lesov Severnoi Evrazii: baza dannykh i geografiya. – Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2001. – 708 s.

11. Usol'tsev V.A., Malenko A.A. Kultury sosny raznoi gustomy posadki i problema ee optimizatsii // Botanicheskie issledovaniya v Sibiri. – 2008. – Vyp. 16. – S. 136-164.

12. Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V. Ocherki po teorii lesnoi populyatsionnoi biologii. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2012. – 273 s.

