

УДК 630*52:630*174.754

***В.А. Усольцев, Н.С. Ненашев, Е.В. Белоусов, С.В. Залесов,
А. А Терин, Г.Г. Терехов, В.В. Терентьев***

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральского государственного лесотехнического университета, заведующий лабораторией экологии и биопродуктивности растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН. Имеет 300 печатных работ по проблемам оценки и моделирования биологической продуктивности лесов.



Ненашев Николай Сергеевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Омский государственный агроуниверситет, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 10 печатных работ по оценке фитомассы и запасов углерода в лесных насаждениях.



Белоусов Евгений Владимирович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Омский государственный агроуниверситет, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 13 печатных работ по оценке биологической продуктивности лесов.



Терин Александр Алексеевич родился в 1951 г., окончил в 1977 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, директор Суходожского лесхоза Свердловской области. Имеет 8 печатных работ по экологии лесов и биопродуктивности насаждений.



Терехов Геннадий Григорьевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Уральский государственный лесотехнический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией искусственного лесовосстановления Ботанического сада УрО РАН. Имеет 80 печатных работ по вопросам создания, формирования и оценки биопродуктивности лесных культур.



Терентьев Виталий Викторович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант УГЛТУ. Имеет 12 печатных работ по оценке биологической продуктивности лесов.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ УРАЛА И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

По материалам 23 пробных площадей в культурах сосны обыкновенной Свердловской, Челябинской и Омской областей определена надземная фитомасса 190 модельных деревьев, регрессионным методом рассчитаны ее фактические запасы на 1 га. Сопоставление фитомассы выполнено по многофакторным уравнениям с блоками фиктивных переменных, которыми закодирована принадлежность культур к конкретному региону.

Ключевые слова: фитомасса культур, региональные закономерности, регрессионный анализ, фиктивные переменные.

Исследования биологической продуктивности лесов имеют характерную особенность – недостаточную представленность фактических данных о видовом и экологическом многообразии, что объясняется высокой трудоемкостью их получения на пробных площадях. Этот факт диссонирует с необходимостью глобальных обобщений биологической продуктивности в расчетах углеродного цикла и углерододепонирующего потенциала лесов, особенно с учетом усиления антропогенного воздействия на лесные экосистемы и возрастания доли лесных культур в лесном фонде.

Степень прогресса в изучении биологической продуктивности лесов определяется главным образом наличием фактических данных о биологической продуктивности по полному видовому и экологическому спектрам. Для культур сосны в разных природных зонах Урало-Западносибирского региона эти данные были представлены единичными работами [1, 6], что затрудняло их сравнительный анализ.

Структура фитомассы культур сосны изучена в трех областях: Свердловской (Сухоложский и Билимбаевский лесхозы), Челябинской (Катав-Ивановский лесхоз, данные взяты из опубликованных материалов [1]) и Омской (Саргатский лесхоз).

Билимбаевский лесхоз расположен в Первоуральском районе Свердловской области на расстоянии 50 км к западу от г. Екатеринбурга. Лесопокрываемая площадь представлена горными лесами. По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова [3], территория лесхоза отнесена к подзоне южно-таежных лесов, приурочена к Среднеуральской, западная часть – к Предуральской горной провинции. Высота над уровнем моря 330 м. Климат континентальный, средняя годовая температура +0,3 °С, абсолютный максимум +37 °С, абсолютный минимум – 46 °С, количество годовых осадков

* Работа поддержана РФФИ, грант № 04-05-96083-Урал.

513 мм, продолжительность вегетационного периода 109 дн. Почвы темно-серые среднеподзоленные, серые лесные, горно-лесные бурые, дерново-луговые глеевые и торфяно-болотные. Преобладают коренные формации темнохвойных и темнохвойно-сосновых лесов. Сосна занимает 32 % лесопокрытой площади. Средний класс бонитета II, средняя полнота 0,7, средний возраст 67 лет.

Сухоложский лесхоз находится в Сухоложском и Богдановичском административных районах Свердловской области на границе подзон южной тайги и лесостепи (57° с.ш. и 62° в.д.), в 120 км к востоку от Екатеринбурга. Согласно лесорастительному районированию [3], территория лесхоза относится к сосново-березовому предлесостепному округу Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области. В общей покрытой лесом площади 86,5 тыс. га на долю сосны приходится 48 %. Исследования проводили в Винокурском лесничестве, в зоне крупнейшей в стране Рефтинской ГРЭС, работающей на многозольных экибастузских углях. Содержащиеся в зольных выбросах микроэлементы способствовали раскислению почв, что привело к повышению их плодородия и класса бонитета сосновых древостоев с II,3 в 1970 г. до I,8 в 2000 г. Если в 1970 г. на долю сосняков Ia–I классов бонитета приходилось 18 % общей площади под сосной, то в 2000 г. этот показатель составил уже 44 %. Идет интенсивное задернение почв. Стал преобладать разнотравный тип леса, доля которого в общей площади за упомянутый период возросла с 37 до 55 % [5]. Лесные культуры занимают площадь около 10 тыс. га, из них 90 % – сосна. Лесистость территории 45 %, средняя полнота сосняков 0,74, средний возраст 68 лет.

Катав-Ивановский лесхоз находится в 300 км к западу от Челябинска, на западном склоне Южного Урала, в поясе небольших сглаженных хребтов, входит в горно-таежный лесохозяйственный район [3]. Для территории характерна вертикальная поясность с преобладанием в нижней части (до 900 ... 1000 м) сосновых, елово-пихтовых и лиственных лесов с разнообразным растительным покровом. Основная территория расположена в средней части склона Уральских гор. Климат континентальный, средняя годовая температура $+1,1^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум $+36^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум -48°C , среднегодовая сумма осадков 571 мм, продолжительность вегетационного периода 160 дн. Основной процесс почвообразования подзолистый, однако во многих местах почвы образуются из остатков травяного покрова. Общая площадь лесного фонда лесхоза – 158 тыс. га, в том числе покрытая лесом – 144,5, лесные культуры – 5,6 тыс. га. Преобладающая порода – сосна обыкновенная, занимающая 34,2 тыс. га, или 24 %. На сосновые молодняки приходится 8,4 тыс. га, или около четверти всей площади сосняков. Классы возраста сосны IV и V, средний класс бонитета сосны II, средняя полнота 0,7, средний возраст 72 года. Преобладают вейниково-разнотравный и ягольниковый типы леса.

Саргатский лесхоз расположен на территории Саргатского административного района Омской области, в левобережье р. Иртыша, на расстоянии 110 км к северу от г. Омска, в Ишимо-Тюменском сосново-березовом лесостепном округе, входящем в зону остепненных лесов [4]. Южная и центральная части лесхоза относятся к центральной лесостепи, северная – к северной лесостепной зоне. Климат района резко континентальный, средняя температура +0,28 °С, абсолютный максимум +38 °С, абсолютный минимум – 40 °С, годовое количество осадков 400 мм, длительность вегетационного периода 160 дн.

Рельеф равнинный, с незначительным превышением над уровнем моря (100 ... 120 м) и постепенным уклоном к р. Иртыш. По гривам распространены серые лесные почвы, по западинам – солоды и солонцы, занимающие соответственно 60, 34 и 6 % лесных земель. Лесистость 15,3 %. Основные лесообразующие породы – береза и осина, соответственно 57 и 14 % площади лесных земель. Сосна представлена лишь культурами, которыми занято 29 % площади лесных земель, средний класс бонитета II, полнота 0,7. Возраст культур 20...30 лет, но имеются посадки 60-летней давности в отличном состоянии.

Фитомассу культур определяли на 23 пробных площадях, 190 модельных деревьях, взятых по ступеням толщины в количестве 7 ... 10 на пробе. Для закладки пробных площадей подбирали наиболее сохранившиеся участки культур, без прогалов, окон. После рубки деревьев измеряли их длину, протяженность бессучковой части, диаметр ствола у основания кроны. Ствол делили на секции длиной 0,5 или 1,0 м в зависимости от его размеров. На середине секций и на высоте груди определяли диаметры ствола в коре. В каждом сечении выпиливали, затем обмеряли шайбу в коре и без коры, отделяли кору, взвешивали древесину и кору до и после сушки до абс. сухого состояния. По полученным данным рассчитывали массу древесины и коры в свежем и сухом состоянии, общую массу и базисную плотность ствола.

Крону после обрубки делили вдоль на три равные секции и каждую взвешивали с точностью 50 г на весах грузоподъемностью 10 ... 20 кг. Затем у каждой секции секаторами отделяли древесную зелень – охвоенные побеги толщиной 0,4 ... 0,8 см, оставшийся скелет кроны вновь взвешивали. Долю хвои в древесной зелени определяли по навескам, взятым в средней части каждой секции кроны, и по ним рассчитывали массу хвои всего дерева. Запасы фитомассы на 1 га по фракциям рассчитывали регрессионным методом с использованием перечетных ведомостей. Таксационные показатели пробных площадей и фактические данные о структуре надземной фитомассы приведены в табл. 1.

Интересно сопоставить данные о фитомассе в исследованных лесхозах в целях выявления возможности их экстраполяции на другие области региона. Фактические данные о фитомассе культур (табл. 1) варьируют не только по природным подзонам (лесхозам), но и с возрастом древостоев.

Таблица 1

оз- раст, лет	Средние		Густота, экз./га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс боните- та	Фитомасса, т/га				
	высота, м	диаметр, см					Ствол в коре	ора ствола	етви	воя	того
Билимбаевский лесхоз											
5	,1	,4	766	0,5	05	I	6,6	,5	,0	,4	7,0
8	1,0	0,0	673	6,7	99	I	2,2	,3	2,5	,8	09,5
7	4,3	2,3	400	0,4	88	I	40,9	0,0	1,4	,3	59,6
7	6,7	6,4	643	4,7	90		42,3	1,3	4,5	,9	63,7
Сухоложский лесхоз											
15	5,55	7,2	2592	10,7	34,8	I	11,5	2,16	6,49	5,98	24,0
18	7,71	7,4	6045	26,3	107	I	36,8	6,05	8,09	10,6	55,5
26	8,60	10,0	3396	26,6	166	II	42,8	5,72	12,8	10,4	66,0
29	12,2	12,1	2733	31,6	207	I	71,1	7,21	10,7	8,48	90,3
32	16,6	12,5	3944	48,4	452	Ia	147,2	13,5	18,1	9,39	174,7
Катав-Ивановский лесхоз											
10	2,5	3,3	2260	1,91	6,3	II	5,01	-	2,51	3,95	11,5
15	3,8	4,5	3100	4,93	9,1	II	7,31	-	2,05	2,63	12,0
20	13,6	7,3	1415	5,92	30,9	III	24,7	-	5,90	4,77	35,4
30	15,2	12,6	1524	19,0	87,1	II	74,2	-	5,26	4,17	83,6
40	17,6	15,7	1040	20,1	202	II	162,0	-	12,9	5,58	180,5
Саргатский лесхоз											
Возрастной ряд											
10	4,5	5,7	2264	5,8	17,9	Ia	6,14	2,03	2,06	3,38	11,58
21	10,4	11,0	2945	28,1	143,0	Ia	48,89	5,84	10,39	7,16	66,44
30	14,8	15,6	1925	36,6	282,0	Ia	88,31	8,71	8,23	8,04	104,58
40	16,6	15,6	1836	34,9	317,6	I	110,24	7,81	11,87	10,56	132,67
50	18,7	18,4	1603	42,8	288,5	I	113,39	7,81	12,55	9,33	135,27
Эдафический ряд											
20	10,2	10,1	2636	21,0	132,4	Ia	40,86	4,30	12,66	10,58	64,10
20	8,9	12,3	1873	22,1	88,9	I	37,78	4,30	18,78	16,03	72,59
20	6,8	9,9	2129	16,5	50,9	II	22,29	2,84	9,05	8,48	39,82
20	5,1	8,2	1794	9,5	27,1	III	10,76	1,49	2,90	8,85	22,51

Но поскольку зависимость от возраста существенно выше, нами выполнено сопоставление на этом уровне:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln A, \quad (1)$$

где P_i – фитомасса в абс. сухом состоянии i -й фракции древостоя (стволов, ветвей, хвои и общая надземная), т/га;

A – возраст древостоя, лет.

Сопоставление выполнено с использованием блока фиктивных переменных (X_1, X_2, X_3) [2], которым приданы следующие значения: для Билимбаевского лесхоза $X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 0$; для Сухоложского – $X_1 = 1, X_2 = 0,$

$X_3 = 0$; для Катав-Ивановского – $X_1 = 0$, $X_2 = 1$, $X_3 = 0$ и для Саргатского – $X_1=0$, $X_2=0$, $X_3=1$. Рассчитаны уравнения

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 X_1 + a_3 X_2 + a_4 X_3, \quad (2)$$

характеристика которых включает не только значения констант a_0 , a_1 , a_2 , a_3 и a_4 , но и показатели их значимости по Стьюденту. Если для i -й фракции фитомассы показатель значимости $t_{\text{факт}}$ какой-либо из констант a_2 , a_3 или a_4 оказывается более $t_{0,05} = 2,0$, то возрастной тренд фитомассы соответствующего региона (лесхоза) достоверно отличается от тренда для Билимбаевского лесхоза, закодированного нулевыми значениями всего блока (X_1 , X_2 , X_3).

Полученные зависимости на статистически значимом уровне подтверждают увеличение (все константы a_1 при $\ln A$ имеют знак плюс) всех фракций надземной фитомассы в исследуемом возрастном диапазоне на уровне $t_{0,05}$, а именно для массы стволов, ветвей, хвои и общей надземной $t_{\text{факт}}$ составили соответственно 10,5; 5,9; 3,6 и 9,8, что существенно выше 2,0.

Расчет по уравнению (2) показал, что на уровне значимости t_{05} возрастные тренды фитомассы для сосны Сухоложского, Катав-Ивановского и Саргатского лесхозов достоверно не отличаются от аналогичного тренда для Билимбаевского лесхоза (значимость всех блоковых переменных меньше 2,0), но по массе ветвей и хвои различия для некоторых лесхозов достоверны.

При сопоставлении фитомассы культур разных регионов по формуле (1) учитывается влияние возраста древостоя, но остается неучтенным совокупный эффект региональных природных, в том числе эдафических, факторов, особенностей создания и формирования культур, а также их морфоструктуры.

Чтобы при региональном сопоставлении учесть влияние на фитомассу не только возраста, но и морфоструктуры древостоя, в расчетное уравнение (2) кроме возраста включены также средний диаметр (D , см) и густота (N , тыс. дер./га), все значимые на уровне t_{05} :

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln D + a_3 \ln N + a_4 X_1 + a_3 X_2 + a_4 X_3. \quad (3)$$

В этом случае можно предположить, что региональные различия фитомассы культур одинакового возраста определяются в первом приближении природными особенностями регионов и спецификой создания культур, что находит косвенное выражение в их морфоструктуре. Эти различия более наглядно можно представить не в аналитической, а в табличной форме путем построения дифференцированных по лесхозам возрастных трендов фитомассы с учетом возрастной динамики морфоструктуры древостоев. Для построения таких таблиц рассчитана вспомогательная рекурсивная система уравнений [5]:

$$\begin{aligned} \ln D &= a_0 + a_1 \ln A + a_2 X_1 + a_3 X_2 + a_4 X_3 \rightarrow \\ \rightarrow \ln N &= a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln D + a_3 X_1 + a_4 X_2 + a_5 X_3 \rightarrow \\ \rightarrow \ln P_i &= a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln D + a_3 \ln N + a_4 X_1 + a_3 X_2 + a_4 X_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Расчет по уравнениям (4) показал, что на уровне значимости t_{05} возрастные тренды фитомассы для сосны Сухоложского, Катав-Ивановского и Саргатского лесхозов, как и при использовании уравнения (2), достоверно не отличаются от аналогичного тренда для Билимбаевского лесхоза (значимость всех блоковых переменных меньше или равна 2,0), но по отдельным фракциям различия для некоторых регионов достоверны.

Система уравнений (4) протабулирована в последовательности, показанной стрелками: вначале по задаваемым значениям возраста A для каждого из четырех регионов (лесхозов) рассчитан средний диаметр стволов D , с подстановкой блоковых переменных. На втором этапе по значениям возраста A и среднего диаметра стволов D определена густота N , на третьем этапе по значениям A , D и N – фракционный состав фитомассы древостоев в возрастной динамике.

Табл. 2 дает примерные возрастные тренды фитомассы культур сосны четырех регионов с учетом региональных особенностей возрастной динамики среднего диаметра и густоты.

В числовом выражении общая надземная фитомасса культур в Сухоложском лесхозе на 17 % ниже, чем в Билимбаевском, но фитомасса хвой, напротив, на 40 % выше. Поскольку те и другие культуры расположены в одной и той же природной подзоне, то эти различия скорее всего объясняются промышленными загрязнениями лесов в Сухоложском лесхозе.

Культуры Катав-Ивановского лесхоза, как и Билимбаевского, произрастают в подзоне южной тайги, но значительно выше, в результате чего, по-видимому, общая фитомасса, в том числе масса хвой, в первом случае на 30 ... 40 % ниже.

Саргатский лесхоз, в отличие от остальных, расположен в подзоне лесостепи, в условиях дефицита влагообеспечения. Поэтому фитомасса культур одного и того же возраста здесь меньше, чем в самых низкопродуктивных культурах Катав-Ивановского лесхоза.

Таким образом, выявленные различия фитопродуктивности культур, произрастающих в трех административных областях, в разных природных подзонах, могут быть обусловлены как природными (почвенно-

Таблица 2

**Возрастная динамика фитомассы культур сосны
в абс. сухом состоянии по природным подзонам**

Возраст, лет	Диаметр, см	Густота, тыс. экз./га	Надземная фитомасса, т/га			
			Ствол в коре	Ветви	Хвоя	Итого
Билимбаевский лесхоз (южная тайга)						
15	7,47	2,48	21,70	4,64	5,68	32,0
25	11,99	2,02	69,92	8,06	6,37	84,3
35	16,36	1,76	151,12	11,59	6,88	169,6
45	20,65	1,59	268,75	15,20	7,28	291,2
Сухоложский лесхоз (южная тайга)						
15	6,43	4,24	16,90	6,62	7,98	31,5
25	10,32	3,45	54,46	11,50	8,95	74,9
35	14,09	3,01	117,72	16,55	9,66	143,9
45	17,78	2,72	209,35	21,71	10,22	241,3
Катав-Ивановский лесхоз (горная южная тайга)						
15	5,51	1,97	12,52	3,29	3,82	19,6
25	8,84	1,60	40,35	5,71	4,28	50,3
35	12,07	1,40	87,21	8,21	4,62	100,0
45	15,23	1,26	155,10	10,77	4,89	170,8
Саргатский лесхоз (лесостепь)						
15	5,60	4,49	11,06	4,96	6,85	22,9
25	8,98	3,66	35,64	8,61	7,69	51,9
35	12,26	3,19	77,04	12,38	8,29	97,7
45	15,47	2,88	137,00	16,24	8,78	162,0

климатические условия), так и антропогенными (технология посадки культур и ухода за ними, промышленные загрязнения) факторами. Изложенные результаты являются предварительными, необходимы дальнейшие исследования в пределах Уральско-Западносибирского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аткина Л.И.* Структура надземной фитомассы естественных молодняков и культур сосны Челябинской области / Л.И. Аткина, О.А. Петелина // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. – Брянск: БГИТА, 2002. – Вып. 3. – С. 3–6.
2. *Дрейпер Н.* Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
3. *Колесников Б.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. – 176 с.
4. *Крылов Г.В.* Лесорастительное районирование Сибири / Г.В. Крылов // Изв. Томск. отд-ния Всерос. бот. общ-ва. – Новосибирск, 1959. – Т. 4. – С. 115–149.
5. *Терин А.А.* Состояние сосновых насаждений и перспективы их хозяйственного использования после подсадки в Среднем Зауралье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.А. Терин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. – 21 с.

6. Усольцев В.А. Органическая масса культур сосны обыкновенной в разных природных зонах / В.А. Усольцев и [и др.] // Лесная таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: СибГТУ, 1999. – С. 16–24.

*V.A. Usoltsev, N.S. Nenashev, E.V. Belousov, S.V. Zalesov, A.A. Terin,
G.G. Terekhov, V.V. Terentjev*

**Comparative Analysis of Top Phytomass of Pine Cultures
in the Urals and Western Siberia**

The top phytomass of 190 model trees has been determined based on the materials of 23 test areas in the cultures of Scotch pine of Ekaterininburg, Chelyabinsk and Omsk regions; its actual stock per 1 ha was estimated by the regression method. Comparison of phytomass was carried out based on multifactor equation with blocks of fictitious variables reflecting the cultures relation to the specific region.
