

УДК 630*532

В.А. Усольцев, В.В. Терентьев, Е.В. Белоусов,
Е.Ю. Платонов, Канунникова О.В.
(Уральский государственный лесотехнический университет)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО И ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ТАЕЖНОЙ, ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН

Изложены результаты определения фитомассы и ее первичной продукции в естественных сосняках и культурах в подзонах южной тайги (Свердловская область), лесостепи (Омская область) и степи (Тургайский прогиб в Северном Казахстане).

Лесной покров является основным трансформатором солнечной энергии, достигающей поверхности нашей планеты (Чижевский, 1976), а биологическая продуктивность лесов характеризует продукционный потенциал лесного покрова.

Исследования биологической продуктивности лесов отличаются одной характерной особенностью – высокой трудоемкостью получения фактических данных на пробных площадях, особенно в подземной части, и соответственно недостаточной представленностью этих данных в видовом и экологическом многообразии. Этот факт диссонирует со все возрастающей потребностью в глобальных обобщениях биологической продуктивности, необходимых в расчетах углеродного цикла и углерододепонирующего потенциала лесов. Поэтому степень достигнутого прогресса в изучении биологической продуктивности лесов определяется главным образом фактологическим состоянием вопроса, или обеспеченностью фактическими данными биологической продуктивности по полному видовому, возрастному и экологическому спектрам.

Наше исследование биологической продуктивности выполнено в культурах и естественных насаждениях сосны обыкновенной в подзоне южной тайги (Сухоложский лесхоз Свердловской области), лесостепи (Саргатский лесхоз Омской области) и степи (Семиозерный и Басаманский лесхозы в Аман-Карагайском бору Кустанайской области).

Характеристика районов исследования

Сухоложский лесхоз расположен в 120 км к востоку от Екатеринбурга (57° с.ш., 62° в.д.). Территория лесхоза относится к сосново-березовому предлесостепному округу Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области (Колесников и др., 1974). Средняя температура +0,30°С, абсолютный максимум +37°С, абсолютный минимум -46°С. Годовое количество осадков 510 мм. Длительность вегета-

ционного периода 109 дней. В общей покрытой лесом площади 86,5 тыс. га на долю сосны приходится 48 %. Район исследований (Винокурское лесничество) находится в зоне воздействий крупнейшей в стране Рефтинской ГРЭС, работающей на многозольных экибастузских углях. Содержащиеся в зольных выбросах микроэлементы и раскисление почв привели к повышению почвенного плодородия, в результате чего класс бонитета сосновых древостоев повысился с П,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 %. Интенсивно идет процесс задернения почв. Преобладающим стал разнотравный тип леса, доля которого в общей площади повысилась за упомянутый период с 37 до 55% (Терин, 2004). Лесные культуры занимают площадь около 10 тыс. га, из них 90 % площадей приходится на сосну. Лесистость территории 45 %. Средняя полнота сосняков 0,74, средний возраст 68 лет.

Саргатский лесхоз расположен в левобережье Иртыша в 110 км к северу от г. Омска (55°30' с.ш., 73°30' в.д.). Территория лесхоза расположена в Ишимо-Тюменском сосново-березовом лесостепном округе, входящем в зону остепненных лесов (Крылов, 1959). Средняя температура +0,28°С, абсолютный максимум +38°С, абсолютный минимум -40°С. Годовое количество осадков 400 мм. Длительность вегетационного периода 160 дней. 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 лесобразующие породы – береза и осина, занимающие соответственно 57 и 14 % площади лесных земель. Сосна представлена лишь культурами, которыми занято 29 % площади лесных земель, средний класс бонитета культур - П, полнота – 0,7. Наиболее распространенный возраст культур – 20-30 лет, но имеются посадки 60-летней давности в хорошем состоянии.

Семиозерный и Басаманский лесхозы расположены в Аман-Карагайском бору, произрастающем на площади 80,9 тыс.га (Грибанов и др., 1970). Он относится к провинции Тоболо-Убаганской равнинной степи степной зоны Казахстана (Казахстан, 1969). Провинция расположена между Зауральским плато на западе, Тургайским плато на юге, левобережьем Ишима на востоке и колочной лесостепной равниной на севере. Аман-Карагайский бор находится в пределах эрозионно-тектонической Тургайской ложбины. Ее плоское днище, достигающее ширины 80-100 км (Гвоздецкий, Николаев, 1971), образуют слоистые аллювиальные и аллювиально-озерные отложения. Они представлены карбонатными глинами и смесями песков мощностью до 20 м.

Основной породой является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*), произрастающая в широком диапазоне почвенно-гидрологических условий.

Из лиственных пород встречаются береза повислая (*Betula pendula* Roth.), осина (*Populus tremula* E.).

Под естественными сосновыми древостоями бора обычны неполнопрофильные, слаборазвитые и многоярусные дерново-боровые почвы. Механический состав этих почв рыхло- и связнопесчаный с высоким содержанием фракции мелкозернистого песка (Малаян, 1979).

На не занятых лесом обширных остепненных пространствах распространены зональные темно-каштановые почвы. Здесь уровень залегания грунтовых вод опускается до 7-9 м, что значительно осложняет выращивание на них устойчивых искусственных насаждений. Установлено (Прохоров и др., 1985), что в условиях Аман-Карагайского бора на 60% лесокультурного фонда посадки сосны успешно растут только до возраста дифференциации, а затем к 17-25 годам полностью усыхают. Гибель либо успешный рост сосны зависят от почвенно-гидрологических условий, определяемых сочетанием механического состава почвогрунтов и уровнем расположения грунтовых вод.

Годовое количество осадков – 242 мм, влажность воздуха в летний период снижается до 25-30 %. Климат района резко континентальный. Среднемесячная температура июля составляет 20,1⁰, а января – 18,1⁰ мороза. Годовая амплитуда абсолютных температур воздуха равна 89⁰, среднегодовая температура 1,6⁰. Теплый период со средней суточной температурой выше 0⁰ длится 199 дней, достигая суммы положительных температур 2800⁰ (Агроклиматический справочник..., 1969).

В целом лесорастительные условия для сосны Аман-Карагайского бора очень жесткие. Небольшое количество выпадающих атмосферных осадков в сочетании с высокими температурами воздуха в течение всего вегетационного периода и периодически повторяющимися засухами обуславливают повышенный расход почвенной влаги на испарение и транспирацию (Грибанов, 1960). Довольно глубокое залегание грунтовых вод и небольшая зона капиллярного поднятия создают неблагоприятные условия для произрастания древесной растительности.

Объекты и методы исследования

Нами спланирован пассивный эксперимент, в соответствии с которым в трех вышеупомянутых подзонах заложены серии пробных площадей в естественных сосняках и культурах по возрастному, эдафическому и густотному градиентам (табл. 1-4). На каждой пробной площади взято по 9-10 модельных деревьев по ступеням толщины. Методики определения биопродуктивности надземной фитомассы и корней изложены ранее (Усольцев, 1988; Усольцев, Крепкий, 1994; Усольцев, Залесов, 2005).

Общая масса корней и тонкой их фракции (<1 мм) рассчитана с использованием трехфакторных аллометрических уравнений (Усольцев, 1988). Годичная продукция корней NPP принята равной наличной массе

тонких корней в предположении, что продолжительность жизни тонких корней равна 1 году (Молчанов, 1954; Janssens et al., 2002). Фитомасса и первичная продукция сосны на 1 га рассчитана регрессионным (аллометрическим) методом по полному фракционному составу.

Таблица 1

Таксационные показатели культур сосны по возрастному ряду по данным перечетов на пробных площадях Сухоложского лесхоза Свердловской области

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			высота, м	диаметр, см				
1	10С	15	5,55	7,2	2592	10,66	34,82	I
2	10С	18	7,71	7,4	6045	26,33	106,90	I
3	10С	26	8,60	10,0	3396	26,55	166,26	II
4	9С1Б	29	12,2	12,1	2733	31,58	206,57	I
5	10С	32	16,6	12,5	3944	48,41	452,29	Ia

Таблица 2

Таксационные показатели культур сосны по возрастному и эдафическому рядам по данным перечетов на пробных площадях Саргатского лесхоза Омской области (рис. 1-3)

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
Возрастной ряд для Ia-I классов бонитета								
1	10С	10	5,7	4,5	2264	5,8	17,9	Ia
2	10С	21	11,0	10,4	2945	28,1	143,0	Ia
3	10С	30	15,6	14,8	1925	36,6	282,0	Ia
4	10С	40	15,6	16,6	1836	34,9	317,6	I
5	10С	50	18,4	18,7	1603	42,8	288,5	I
Эдафический ряд для возраста 20 лет								
6	10С	20	10,1	10,2	2636	21,0	132,4	Ia
7	10С	20	12,3	8,9	1873	22,1	88,9	I
8	10С	20	9,9	6,8	2129	16,5	50,9	II
9	10С	20	8,2	5,1	1794	9,5	27,1	III

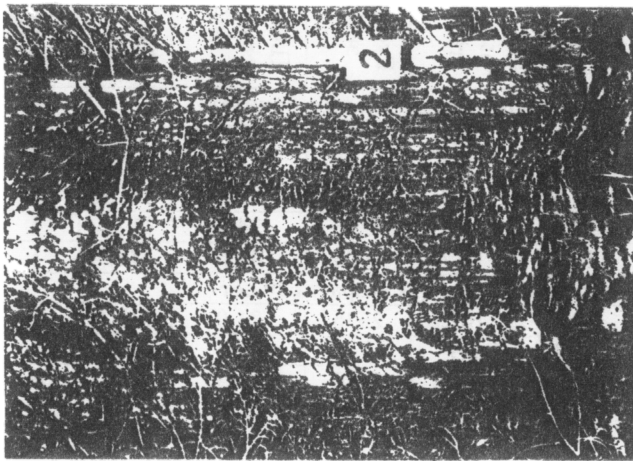


Рис. 1. Пробная площадь № 2.
 Культуры сосны обыкновенной 21 – летнего возраста.
 Саргатский лесхоз Омской области. Тип леса –
 разнотравный, класс бонитета 1а, средняя
 высота 10,4 м; средний диаметр 11,0 см;
 запас 143,0 м³/га; густота 2945 экз/га

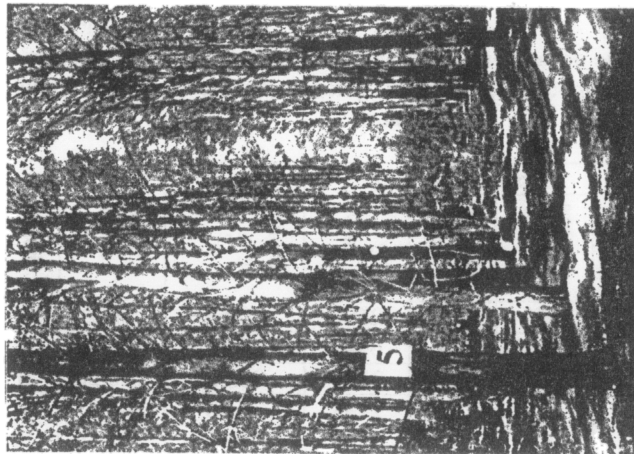


Рис. 2. Пробная площадь № 5.
 Культуры сосны обыкновенной 50 – летнего возраста.
 Саргатский лесхоз Омской области. Тип леса –
 разнотравный, класс бонитета 1, средняя
 высота 18,7 м; средний диаметр 18,4 см;
 запас 288,5 м³/га; густота 1603 экз/га



Рис. 3. Пробная площадь № 9. Культура сосны обыкновенной 20 – летнего возраста. Саргатский лесхоз Омской области. Тип леса – осоково-разнотравный, класс бонитета III, средняя высота 5,1 м; средний диаметр 8,2 см; запас 27,1 м³/га; густота 1794 экз/га

Таблица 3

Таксационные показатели культур сосны по возрастному, эдафическому и густотному рядам по данным перерчетов на пробных площадях Аман-Карагайского бора

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
Возрастной ряд для I класса бонитета, влажный бор								
1	10С	10	3,3	4,0	18,87	16,1	52,3	I
2	10С	19	9,0	9,5	7,000	44,5	234	Ia
3	10С	23	11,0	10,2	3,830	36,4	203	I
4	10С	26	8,8	9,9	6,080	37,0	195	I
Возрастной ряд для II класса бонитета, свежий бор								
5	10С	9	2,5	2,6	11,53	5,7	16,7	II
6	10С	13	4,4	4,3	9,200	14,0	43,3	II
7	10С	19	7,9	6,1	4,450	21,8	89,7	II
8	10С	22	7,4	8,1	4,860	20,9	125	II
9	10С	50	16,0	16,4	1,810	36,4	274	II
Возрастной ряд для III класса бонитета, сухой бор								
10	10С	11	3,0	2,8	10,46	7,4	43,3	III
11	10С	14	3,8	3,3	9,730	11,0	33,0	III
12	10С	15	4,1	3,7	8,440	10,9	51,7	III
13	10С	25	7,0	7,5	8,640	33,3	177	III
Эдафический ряд для возраста 22 года								
14	10С	24	10,5	11,4	5,340	46,2	299	Ia
15	10С	22	10,8	9,3	3,850	35,3	191	I
16	10С	20	7,0	7,0	6,330	24,4	100	II
17	10С	21	7,7	5,5	3,240	15,1	55,2	III
18	10С	21	6,1	4,8	5,180	15,1	48,1	IV
Густотный ряд для возраста 22 года, I класс бонитета								
19	10С	22	12,0	10,2	2,610	29,5	108	I
20	10С	22	9,6	9,2	4,240	30,7	170	I
21	10С	22	9,4	9,3	5,210	36,2	178	I

Таблица 4

Таксационные показатели естественных сосняков по возрастному, эдафическому и густотному рядам по данным перечетов на пробных площадях Аман-Карагайского бора

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1 га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
Возрастной ряд II-III классов бонитета, свежий бор								
22	10С	21	7,0	6,6	6,050	23,3	114	II
23	10С	32	5,1	7,6	19,91	40,7	196	III
24	10С	40	8,3	12,8	9,621	52,0	376	II
25	10С	110	22,0	21,4	1,350	51,3	427	III
Эдафический ряд для возраста 40 лет								
26	10С	40	17,0	17,8	2,271	51,5	432	Ia
27	10С	40	15,2	14,7	2,049	37,2	268	I
28	10С	40	12,6	13,8	3,197	39,9	248	II
29	10С	42	5,2	8,8	19,14	40,6	252	IV
30	10С	42	2,5	4,9	56,33	27,6	120	Va
Густотный ряд для возраста 20 лет, IV класс бонитета								
31	10С	20	3,3	3,3	12,29	10,5	31	IV
32	10С	20	3,6	4,3	19,76	20,1	68	IV
33	10С	20	3,0	2,8	44,43	31,4	126	IV

Здесь следует отметить одну неопределенность, связанную с допущением некой предельной точности, присущей любому методу, и имеющую прямое отношение к принятой методике оценки биопродуктивности насаждений, точность которой далеко не идеальна. Комментируя принцип неопределенности Гейзенберга с кибернетических позиций, И. И. Шмальгаузен (1968) писал: "Получение всякой информации, всякое измерение требует известного минимума действий, и это связано с неустранимой неточностью самого измерения. Неопределенность в микромире неустранима, и она не допускает полного изучения отдельных явлений" (с. 196). Строго говоря, ошибка в оценке биопродуктивности насаждения связана не только с измерениями и включает в себя несколько ее составляющих: ошибка прибора, ошибка пользователя прибором, ошибка выборки на уровне дерева, ошибка метода пересчета продуктивности с уровня дерева на уровень древостоя, ошибка выборки на уровне древостоя и т.д., которые заслуживают отдельного рассмотрения.

Результаты и обсуждение

Установлены общие закономерности повышения фитомассы и первичной продукции сосняков с увеличением возраста, класса бонитета и густоты в исследованных диапазонах соответствующих показателей (табл. 5-8).

Таблица 5

Показатели надземной фитомассы и первичной продукции в абсолютно сухом состоянии по возрастному ряду культур сосны Сухоложского лесхоза

№ пробной площади	Фитомасса, т/га					Первичная продукция, т/га				
	Ствол в коре	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Итого	Ствол в коре	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Итого
1	11,5	2,16	6,49	5,98	24,0	1,36	0,217	1,27	2,33	4,96
2	36,8	6,05	8,09	10,6	55,5	3,06	0,438	1,50	3,28	7,84
3	42,8	5,72	12,8	10,4	66,0	2,59	0,310	1,67	3,48	7,75
4	71,1	7,21	10,7	8,48	90,3	3,22	0,215	1,57	3,36	8,15
5	147,2	13,5	18,1	9,39	174,7	3,66	0,299	1,92	2,92	8,50

Таблица 6

Показатели надземной фитомассы и первичной продукции в абсолютно сухом состоянии в культурах сосны по возрастному и эдафическому рядам на пробных площадях Саргатского лесхоза Омской области

№ пробной площади	Фитомасса, т/га					Первичная продукция, т/га				
	Ствол в коре	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Итого	Ствол в коре	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Итого
Возрастной ряд для Ia-I классов бонитета										
1	6,14	2,03	2,06	3,38	11,58	1,19	0,194	0,723	1,69	3,60
2	48,89	5,84	10,39	7,16	66,44	5,48	0,521	1,448	2,88	9,81
3	88,31	8,71	8,23	8,04	104,6	6,99	0,552	1,676	2,69	11,36
4	110,24	7,81	11,87	10,56	132,7	4,54	0,322	0,817	5,33	10,69
5	113,39	7,81	12,55	9,33	135,3	3,79	0,265	0,694	3,34	7,82
Эдафический ряд для возраста 20 лет										
6	40,86	4,30	12,66	10,58	64,10	5,49	0,578	1,283	4,24	11,01
7	37,78	4,30	18,78	16,03	72,59	4,61	0,525	1,768	6,24	12,62
8	22,29	2,84	9,05	8,48	39,82	2,75	0,350	0,776	3,08	6,61
9	10,76	1,49	2,90	8,85	22,51	1,10	0,152	0,295	2,85	4,25

Показатели фитомассы и первичной продукции в абсолютно сухом состоянии культур сосны по возрастному, эдафическому и густотному рядам на пробных площадях в Тургайском прогибе

Таблица 7

Площадь %, номера	Фитомасса, т/га						Первичная продукция НРР, т/га					
	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого
	Всего	Кора					Всего	Кора				
Возрастной ряд I класса бонитета, влажный бор												
1	17,5	3,63	3,56	5,97	24,9	51,9	3,57	0,44	0,98	0,38	19,4	24,3
2	81,3	11,4	13,8	12,8	74,4	182,3	2,23	0,11	2,78	3,71	53,6	62,3
3	65,1	9,12	10,8	13,4	63,4	152,7	1,55	0,08	1,51	4,65	45,8	53,5
4	69,3	10,2	6,36	5,77	53,2	134,6	0,19	0,06	0,93	1,71	37,4	40,2
Возрастной ряд II класса бонитета, свежий бор												
5	5,14	1,24	1,82	4,78	9,11	20,9	1,65	0,25	0,53	1,03	7,57	10,8
6	14,3	2,69	4,55	6,97	23,3	49,1	2,15	0,26	1,05	1,78	18,5	23,5
7	33,5	6,32	8,43	8,62	40,9	91,5	1,03	0,11	1,13	2,95	31,9	37,0
8	43,7	6,01	6,53	7,10	31,0	88,3	1,25	0,08	1,01	2,33	22,4	27,0
9	102,6	8,92	7,13	2,82	49,9	162,5	0,61	0,02	0,55	0,96	33,2	35,3
Возрастной ряд III класса бонитета, сухой бор												
10	6,37	1,65	3,58	4,92	12,2	27,1	1,01	0,16	0,60	1,15	10,1	12,9
11	10,3	2,54	2,27	6,15	18,3	37,0	1,04	0,16	0,71	1,50	14,9	18,2
12	18,7	5,22	6,02	7,28	18,0	50,0	4,04	1,16	0,49	1,95	14,5	21,0
13	62,9	10,6	6,14	6,14	46,9	122,1	1,13	0,08	0,96	1,51	34,0	37,6
Эдафический ряд												
14	105,0	11,7	18,7	13,7	72,7	210,1	2,27	0,11	4,97	4,31	50,9	62,5
15	63,6	7,40	12,7	10,9	64,4	151,6	1,57	0,10	1,90	3,83	47,5	54,8
16	34,0	5,75	5,80	6,11	38,5	84,4	0,95	0,07	0,94	1,84	28,6	32,3
17	19,0	3,88	6,41	5,35	28,2	59,0	0,60	0,07	0,80	1,94	22,3	25,6
18	18,6	3,61	4,62	4,33	25,5	53,1	0,45	0,05	0,55	1,40	20,2	22,6

№ проб	Фитомасса, т/га						Первичная продукция NPP, т/га					
	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого
	Всего	Кора					Всего	Кора				
	Густотный ряд											
19	36,2	4,31	9,88	7,45	55,8	109,3	0,86	0,04	1,80	2,79	40,9	46,4
20	59,3	6,78	14,6	10,6	51,7	136,2	0,67	0,03	1,71	3,60	37,6	43,6
21	62,1	8,93	7,86	8,54	59,7	138,2	1,32	0,11	1,40	2,74	43,2	48,7

Таблица 8

Показатели фитомассы и первичной продукции в абсолютно сухом состоянии естественных сосняков по возрастному, эдафическому и густотному рядам на пробных площадях в Тургайском прогибе

№ проб	Фитомасса, т/га						Первичная продукция NPP, т/га					
	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого	Стволы		Ветви	Хвоя	Корни	Итого
	Всего	Кора					Всего	Кора				
	Возрастной ряд II-III классов бонитета, свежий бор											
22	39,4	7,74	5,39	4,93	37,2	86,9	6,10	0,550	0,798	1,62	27,9	36,4
23	78,6	13,8	3,55	6,11	41,5	129,8	10,76	1,220	0,448	1,74	28,5	41,4
24	155,2	18,0	5,85	3,57	54,3	218,9	13,19	0,779	0,524	1,15	35,2	50,1
25	207,0	15,6	11,8	4,59	58,7	282,1	7,95	0,041	0,387	0,81	37,1	46,2
	Эдафический ряд для возраста 40 лет											
26	152,3	13,2	13,9	11,5	77,1	254,8	17,65	0,263	1,740	1,85	51,2	72,4
27	102,8	10,7	7,32	11,5	56,2	177,8	11,14	0,281	0,895	1,84	38,3	52,2
28	90,1	10,6	6,33	4,62	54,2	155,3	5,69	0,130	0,668	1,39	36,5	44,2
29	104,9	15,7	4,04	4,36	35,5	148,8	10,29	0,490	0,481	1,32	23,4	35,5
30	55,8	10,6	2,95	3,98	18,8	81,5	6,89	0,875	0,316	1,24	12,8	21,2
	Густотный ряд для возраста 20 лет, IV класс бонитета											
31	11,9	2,93	1,86	3,39	13,8	31,0	3,94	0,713	0,741	1,23	10,9	16,8
32	25,5	5,63	4,62	8,1	24,8	63,0	1,45	0,273	1,172	2,15	18,8	23,6
33	48,7	10,6	4,79	7,17	41,7	102,4	10,74	1,040	0,766	2,04	33,8	47,3

В условиях сухой степи Тургайского прогиба подтверждена высокая доля тонких корней в общей их массе (60-80 %), ранее установленная у сосны на песках Саратовской области на уровне 71-95 % (Будаев, 1971). Доля NPP тонких корней (60-80 %) в общей NPP несколько выше аналогичного показателя для сосны в условиях Финляндии (60%) вследствие более жестких условий произрастания в степи (Helmisaari et al., 2002).

Полученные фактические значения фитомассы и первичной продукции естественных сосняков и культур для трех природных лесорастительных таксонов включены в евразийскую базу данных и будут способствовать более корректному расчету приходной части углеродного баланса лесопокрытых площадей названных территорий.

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

Библиографический список

- Агроклиматический справочник Кустанайской области / Под ред. Э.С. Зарембо. Алма-Ата, 1969. 200 с.
- Будаев Х.Р. Рост и формирование корневой системы сосны в зависимости от типов лесорастительных условий песков // Тр. Бурятского ин-та естеств. наук. Вып. 9. Улан-Удэ. 1971. С. 156-180.
- Гвоздецкий Н.А., Николаев В.А. Казахстан. М.: Мысль, 1971. 281 с.
- Грибанов Л.Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. М.: Гослесбумиздат, 1960. 155 с.
- Грибанов Л.Н., Лагов И.А., Чабан П.С. Леса Казахстана // Леса СССР. Т. 5. М.: Наука, 1970. С. 5-76.
- Казахстан / Под общ. ред. академика И.П. Герасимова. М.: Наука, 1969. 482 с.
- Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. 176 с.
- Крылов Г.В. Лесорастительное районирование Сибири // Изв. Томск. отд-ния Всерос. ботан. общ-ва. Т. 4. Новосибирск, 1959. С. 115-149.
- Маланьин А.Н. Дерново-боровые почвы островных боров Северного Казахстана // Известия АН Каз.ССР, сер. биол. 1979. № 2. С. 73-79.
- Молчанов А.А. Изменение биологических, экологических и гидрологических факторов в различных типах дубового леса // Сообщ. Ин-та леса АН СССР. Вып. 2. 1954. С. 107-157.
- Прохоров А.И., Крепкий И.С., Усольцев В.А., Прохоров Ю.А. Перспективы создания лесных культур сосны обыкновенной в условиях Северного Казахстана // Лесн. хоз-во. 1985. № 10. С. 42-44.

Терин А.А. Состояние сосновых насаждений и перспективы их хозяйственного использования после подсадки в Среднем Зауралье: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. 21 с.

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

Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.

Усольцев В.А., Крепкий И.С. Регрессионный анализ вертикально-фракционного распределения массы корней в сосняках Аман-Карагайского бора // Экология. 1994. № 2. С. 21-33.

Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. 2-е изд. М.: Мысль, 1976. 112 с.

Шмальгаузен И.И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. 224 с.

Helmisaari H.-S. et al. Below- and aboveground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland // Forest Ecol. Manage. 2002. Vol. 165. P. 317-326.

Janssens I.A. et al. The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest // Forest Ecol. Manage. 2002. Vol. 168. P. 231-240.