

УДК 630*231

А. А. Маленко, В. А. Усольцев

ВОЗРАСТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОМАССЫ В РАЗНОГУСТОТНЫХ ГНЕЗДОВЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И ОШИБКИ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Выполнены определения фракционной структуры фитомассы в гнездово-образных культурах сосны обыкновенной в возрасте 21 и 59 лет с начальной густотой посадки 4, 10, 20 и 40 тыс. экз./га. Приведены показатели фитомассы стволов, ветвей и хвои на уровне дерева и древостоя, которые проанализированы в связи с густотой культур. Показана точность обобщенных уравнений фитомассы.

Ключевые слова: лесные культуры, надземная фитомасса, абсолютно сухое состояние, фракционный состав, густота посадки, текущая густота.

Введение. В нашей предыдущей работе [1] дан анализ структуры фитомассы 70-летних разногустотных рядовых культур сосны обыкновенной, заложенных в 1935 году В. Е. Смирновым в Лебяжинском лесхозе (в 40 км от г. Рубцовска) с целью оптимизации густоты посадки.

Цель настоящей работы – проанализировать возрастные изменения структуры фитомассы и точность «обобщенных» двухфакторных моделей фитомассы в сравнении с «локальными» однофакторными моделями на другом объекте – разногустотном эксперименте с гнездовыми культурами сосны.

Объекты и методы исследований. Исследования проведены в разногустотных культурах сосны обыкновенной «местами» (гнездами, группами), заложенных в 1948 году Л. Н. Грибановым в Ключевском лесхозе Алтайского края на площади 7 га. Эксперимент необычен тем, что, во-первых, культуры были заложены местами в сопоставлении с посадкой их рядами и, во-вторых, количество площадок в каждом из четырех вариантов начальной густоты было достаточно большим, что дает возможность в будущем проследить их рост до возраста спелости (табл. 1). Вся лесокультурная площадь расположена на обширном пологом всхолмлении и представлена сплошной гарью после пожара 1939 года, заросшей характерными представителями степной флоры (тонко-

Т а б л и ц а 1

**Характеристика густотного эксперимента, заложенного в 1948 году
Л. Н. Грибановым в Ключевском лесхозе (по материалам К. Ж. Аскарова [3])**

| № варианта | Размер площадок | Число площадок | | Число деревьев | | |
|------------|-----------------|----------------|---------|------------------------------|--|-------------------------|
| | | на участке | на 1 га | на 1 м ² площадки | на 1 га суммарной поверхности площадок | на 1 га площади участка |
| I | 1×2 м | 100 | 200 | 100 | 40000 | 1600 |
| II | 1×2 м | 90 | 200 | 50 | 20000 | 800 |
| III | 1×2 м | 96 | 200 | 25 | 10000 | 400 |
| IV | 1×2 м | 126 | 200 | 10 | 4000 | 160 |

ног, типчак, ковыль и др.). Рельеф местности слабоволнистый с отклонениями от среднего уровня поверхности почвы $\pm 2-3$ м. Тип леса – сухой бор пологих дюнных всхолмлений [2]. Подготовка почвы проведена полосной вспашкой на глубину 25–30 см, посадка выполнена двухлетними сеянцами, выращенными в питомнике Ключевского лесхоза из местных семян [3].

В возрасте 21 года эти культуры были протаксированы К. Ж. Аскарковым [3] и в возрасте 59 лет их повторную инструментальную таксацию выполнил А. А. Маленко. Результаты представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Таксационная характеристика культур сосны в возрасте 21 и 59 лет по вариантам посадки в Ключевском лесхозе

| Таксационные показатели | Посадка местами по вариантам | | | | Посадка рядами |
|---|------------------------------|-------|-------|-------------|----------------|
| | I | II | III | IV | |
| Начальная густота, экз/га | 40000 | 20000 | 10000 | 4000 | 4000 |
| Данные перече́та в возрасте 21 года [3] | | | | | |
| Густота, экз/га | 8440 | 6560 | 4080 | 1188 | 1464 |
| Сохранность, % | 21,2 | 32,8 | 40,8 | 29,7 | 36,6 |
| Средняя высота, м | 5,1 | 5,1 | 5,9 | 6,4 | 5,5 |
| Средний диаметр, см | 5,4 | 6,0 | 7,4 | 10,9 | 12,3 |
| Класс бонитета | III | III | III | III | III |
| Площадь сечений, м ² /га | 19,1 | 18,4 | 17,5 | 11,1 | 17,3 |
| Полнота | 0,93 | 0,90 | 0,81 | 0,50 | 0,80 |
| Запас, м ³ /га | 69,4 | 69,3 | 65,3 | 40,1 | 61,3 |
| Данные перече́та в возрасте 59 лет | | | | | |
| Густота, экз/га | 4270 | 3733 | 2883 | 1445 | 1370 |
| Сохранность, % | 10,7 | 18,7 | 28,8 | 36,1 | 34,2 |
| Средняя высота, м | 11,4 | 12,4 | 13,4 | 17,0 | 19,7 |
| Средний диаметр, см | 9,1 | 9,8 | 11,2 | 16,7 | 22,0 |
| Класс бонитета | IV | IV | III | II | I |
| Площадь сечений, м ² /га | 27,85 | 27,94 | 28,40 | 31,50 | 54,04 |
| Полнота | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 0,89 | 1,41 |
| Запас, м ³ /га | 194 | 199 | 210 | 256 | 469 |

Обращает на себя внимание парадоксальный факт: если в вариантах I–III за период между двумя учетами число деревьев уменьшилось в результате естественного изреживания, то в IV варианте посадки возросло с 1188 до 1445 экз/га (отмечены в табл. 2 жирным шрифтом). Этот феномен требует комментария. К. Ж. Аскарков [3] характеризует вариант посадки IV (с наименьшей густотой) как наименее устойчивый к экстремальным условиям сухой степи и находящийся на грани гибели с большим количеством суховершинных деревьев. При перече́те такие деревья с одной-двумя живыми нижними мутовками были протаксированы как неблагонадежные и отмирающие. Но к возрасту 59 лет произошло «воскрешение из полумертвых» какой-то части таких деревьев из нижних боковых ветвей. Подобное явление неоднократно наблюдалось ранее в Бузулукском бору Н. П. Чардымовым [4], В. Г. Нестеровым [5] и Е. Д. Годневым [6], а также в Аман-Карагайском бору в Кустанайской области (Казахстан) [7].

Фитомасса культур определена по модельным деревьям, взятым в диапазоне ступеней толщины, с использованием методики А. А. Молчанова и В. В. Смирнова [8]. От каждой фракции взяты навески для определения содержания сухого вещества, по значениям которого фитомасса в свежем состоянии, полученная взвешиванием, пересчитана на абсолютно сухое состояние (табл. 3 и 4). Обработка материала выполнена по

стандартным программам статистического и регрессионного анализа. Имели место некоторые методические расхождения между учетами фитомассы в возрасте 21 и 59 лет: в первом случае масса ствола определена вместе с корой, без выделения последней в качестве отдельной фракции, но зато учтена масса корней, чего не сделано во втором случае.

Т а б л и ц а 3

**Фитомасса модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии
в возрасте культур 21 года [3]**

| Ступени толщины | Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг | | | | | |
|---|---|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Стволы в коре | Ветви | Хвоя | Надземная | Корни | Итого |
| Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I) | | | | | | |
| 2 | 0,235 | 0,047 | 0,052 | 0,334 | 0,046 | 0,38 |
| 4 | 0,861 | 0,251 | 0,217 | 1,33 | 0,168 | 1,50 |
| 6 | 1,83 | 0,425 | 0,374 | 2,63 | 0,438 | 3,07 |
| 8 | 3,49 | 1,19 | 0,897 | 5,58 | 0,823 | 6,40 |
| 10 | 6,85 | 2,20 | 1,72 | 10,8 | 1,91 | 12,7 |
| 12 | 12,4 | 3,61 | 2,79 | 18,8 | 2,42 | 21,2 |
| 14 | 15,5 | 4,90 | 3,74 | 24,1 | 3,32 | 27,5 |
| 16 | 19,6 | 4,45 | 3,58 | 27,6 | 3,64 | 31,3 |
| Посадка местами, начальная густота 20 тыс. экз/га (вариант II) | | | | | | |
| 2 | 0,196 | 0,056 | 0,071 | 0,323 | 0,048 | 0,371 |
| 4 | 0,716 | 0,191 | 0,188 | 1,095 | 0,165 | 1,26 |
| 6 | 2,65 | 0,801 | 0,757 | 4,21 | 0,870 | 5,08 |
| 8 | 5,05 | 0,883 | 0,924 | 6,86 | 1,05 | 7,91 |
| 10 | 6,14 | 2,03 | 1,33 | 9,50 | 1,56 | 11,1 |
| 12 | 10,9 | 2,34 | 1,74 | 15,0 | 2,17 | 17,2 |
| 14 | 14,1 | 3,64 | 2,50 | 20,2 | 2,75 | 23,0 |
| 16 | 17,7 | 5,26 | 3,64 | 26,6 | 3,83 | 30,4 |
| Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III) | | | | | | |
| 2 | 0,256 | 0,072 | 0,075 | 0,403 | 0,050 | 0,453 |
| 4 | 0,727 | 0,172 | 0,196 | 1,095 | 0,158 | 1,25 |
| 6 | 1,75 | 0,484 | 0,436 | 2,67 | 0,349 | 3,02 |
| 8 | 4,50 | 1,08 | 0,804 | 6,38 | 0,974 | 7,36 |
| 10 | 5,91 | 2,07 | 1,56 | 9,54 | 1,55 | 11,1 |
| 12 | 12,2 | 2,44 | 2,29 | 16,9 | 2,20 | 19,1 |
| 14 | 14,9 | 4,24 | 3,08 | 22,2 | 3,46 | 25,7 |
| 16 | 19,1 | 5,50 | 4,19 | 28,8 | 3,96 | 32,7 |
| Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV) | | | | | | |
| 2 | 0,478 | 0,191 | 0,144 | 0,813 | 0,074 | 0,887 |
| 4 | 1,95 | 0,365 | 0,287 | 2,60 | 0,405 | 3,01 |
| 6 | 2,01 | 0,618 | 0,664 | 3,29 | 0,754 | 4,05 |
| 8 | 4,01 | 0,905 | 0,789 | 5,70 | 1,05 | 6,75 |
| 10 | 5,77 | 2,04 | 1,68 | 9,49 | 1,75 | 11,2 |
| 12 | 12,3 | 3,49 | 2,53 | 18,3 | 2,68 | 21,0 |
| 14 | 14,2 | 4,97 | 3,98 | 23,2 | 4,20 | 27,4 |
| 16 | 16,5 | 6,33 | 3,59 | 26,4 | 4,93 | 31,3 |

Результаты и их обсуждение. Полученные фактические данные фитомассы модельных деревьев используются для определения ее запасов на 1 га разногустотных насаждений. Расчет показателей фитомассы на 1 га древостоев пробных площадей выполнен регрессионным методом с использованием аллометрического уравнения:

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

где P_i – фитомасса i -й фракции (соответственно $P_F, P_{BR}, P_R, P_{ST}, P_B, P_{STB}$ и $P_{ТОТ}$ для хвои, ветвей, корней, древесины ствола, коры ствола, ствола в коре и общей надземной) в абсолютно сухом состоянии, кг; D – диаметр на высоте груди, см. Полученные уравнения (табл. 5 и 6) объясняют от 96 до 99% изменчивости той или иной фракции фитомассы.

Т а б л и ц а 4

Фитомасса модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии в возрасте культур 59 лет

| Диаметр на высоте груди, см | Высота дерева, м | Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг | | | | |
|---|------------------|---|-------------|-------|-------|-----------------|
| | | Древесина ствола | Кора ствола | Ветви | Хвоя | Итого надземная |
| Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I) | | | | | | |
| 3 | 5,2 | 0,80 | 0,16 | 0,135 | 0,148 | 1,24 |
| 6 | 9,3 | 3,75 | 0,73 | 0,404 | 0,363 | 5,25 |
| 10 | 12,5 | 21,0 | 2,07 | 1,53 | 1,705 | 26,3 |
| 14 | 15,1 | 45,4 | 2,77 | 3,19 | 3,27 | 54,6 |
| 20 | 17,6 | 92,15 | 7,52 | 7,82 | 5,55 | 113,0 |
| 24 | 18,2 | 145,5 | 12,2 | 9,81 | 9,01 | 176,5 |
| 27 | 18,5 | 200,7 | 17,8 | 14,1 | 12,8 | 245,4 |
| Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III) | | | | | | |
| 3 | 5,3 | 0,72 | 0,15 | 0,164 | 0,177 | 1,21 |
| 6 | 9,2 | 4,56 | 0,99 | 0,394 | 0,559 | 6,50 |
| 10 | 12,7 | 17,7 | 2,30 | 2,48 | 2,12 | 24,6 |
| 14 | 15,4 | 45,1 | 3,71 | 3,48 | 3,38 | 55,7 |
| 18 | 17,3 | 87,6 | 6,87 | 6,76 | 5,88 | 107,1 |
| 22 | 18,9 | 113,9 | 8,38 | 12,6 | 8,27 | 143,1 |
| 27 | 19,5 | 204,8 | 16,3 | 17,8 | 13,1 | 252,0 |
| Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV) | | | | | | |
| 4 | 6,8 | 1,80 | 0,42 | 0,287 | 0,401 | 2,91 |
| 8 | 10,8 | 15,0 | 1,68 | 1,68 | 1,21 | 19,6 |
| 12 | 14,4 | 33,5 | 3,31 | 3,19 | 2,67 | 42,7 |
| 16 | 16,6 | 54,2 | 4,6 | 6,24 | 5,77 | 70,81 |
| 20 | 19,0 | 105,1 | 8,67 | 12,7 | 9,71 | 136,2 |
| 24 | 19,4 | 164,7 | 12,7 | 15,8 | 11,7 | 204,9 |
| 28 | 20,2 | 237,1 | 18,7 | 23,6 | 16,5 | 295,9 |
| Рядовая посадка, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант V) | | | | | | |
| 9 | 12,8 | 13,4 | 1,89 | 1,98 | 2,65 | 19,9 |
| 14 | 17,0 | 40,7 | 4,26 | 5,24 | 4,01 | 54,2 |
| 18 | 18,6 | 82,0 | 6,92 | 11,2 | 7,84 | 108,0 |
| 22 | 20,5 | 143,0 | 13,4 | 19,4 | 12,2 | 188,0 |
| 25 | 21,0 | 200,3 | 15,2 | 28,6 | 15,0 | 259,1 |
| 29 | 21,3 | 259,1 | 16,3 | 40,2 | 20,7 | 336,3 |
| 36 | 21,6 | 390,1 | 26,8 | 58,0 | 28,4 | 503,3 |

Нетрудно заметить, что между данными табл. 3 и 4, а затем 5 и 6 имеется некоторое несоответствие, вызванное тем, что работы на пробных площадях в первом и втором случаях проводились разными исследователями. Поэтому прежде, чем анализировать возрастное изменение фитомассы культур на единице площади, приведем их результаты в сопоставимое состояние. К. Ж. Аскарров [3] в таблице приводит фитомассу стволов без деления ее на древесину и кору, но в отдельной таблице дает соотношения этих двух фракций. По этим соотношениям мы модифицировали данные табл. 3.

Т а б л и ц а 5

Характеристика уравнений (1) и (2) для 21-летних культур

| Текущая густота древостоя, экз./га | Константы и R^2 | Обозначения фракций фитомассы | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------|-----------|--------|-----------|
| | | P_F | P_{BR} | P_{STB} | P_R | P_{TOT} |
| Уравнение (1) | | | | | | |
| Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I) | | | | | | |
| 8440 | a_0 | -4,551 | -4,690 | -3,138 | -4,718 | -2,629 |
| | a_1 | 2,167 | 2,326 | 2,199 | 2,222 | 2,217 |
| | R^2 | 0,987 | 0,986 | 0,991 | 0,992 | 0,992 |
| Посадка местами, начальная густота 20 тыс. экз/га (вариант II) | | | | | | |
| 6560 | a_0 | -3,993 | -4,449 | -3,185 | -4,436 | -2,503 |
| | a_1 | 1,877 | 2,181 | 2,219 | 2,114 | 2,152 |
| | R^2 | 0,982 | 0,986 | 0,991 | 0,976 | 0,991 |
| Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III) | | | | | | |
| 4080 | a_0 | -4,219 | -4,442 | -3,107 | -4,726 | -2,530 |
| | a_1 | 2,001 | 2,184 | 2,178 | 2,213 | 2,159 |
| | R^2 | 0,987 | 0,982 | 0,986 | 0,989 | 0,988 |
| Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV) | | | | | | |
| 1188 | a_0 | -3,368 | -3,288 | -1,977 | -3,865 | -1,444 |
| | a_1 | 1,685 | 1,763 | 1,706 | 1,966 | 1,737 |
| | R^2 | 0,964 | 0,940 | 0,964 | 0,991 | 0,976 |
| Обобщенное уравнение (2) | | | | | | |
| - | a_0 | 0,265 | 1,621 | 2,423 | -1,116 | 2,800 |
| | a_1 | 0,293 | -0,145 | -0,165 | 1,173 | 0,037 |
| | a_2 | -0,517 | -0,703 | -0,635 | -0,340 | -0,611 |
| | a_3 | 0,197 | 0,272 | 0,270 | 0,115 | 0,244 |
| | R^2 | 0,979 | 0,975 | 0,984 | 0,984 | 0,986 |

Т а б л и ц а 6

Характеристика уравнений (1) и (2) для 59-летних культур

| Густота древостоя, экз./га | Константы и R^2 | Обозначения фракций фитомассы | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------|----------|--------|-----------|
| | | P_F | P_{BR} | P_{ST} | P_B | P_{TOT} |
| Уравнение (1) | | | | | | |
| Посадка местами, начальная густота 40 тыс. экз/га (вариант I) | | | | | | |
| 4270 | a_0 | -4,357 | -4,548 | -3,021 | -4,095 | -2,488 |
| | a_1 | 2,0667 | 2,167 | 2,538 | 2,062 | 2,426 |
| | R^2 | 0,987 | 0,994 | 0,995 | 0,990 | 0,996 |
| Посадка местами, начальная густота 10 тыс. экз/га (вариант III) | | | | | | |
| 2883 | a_0 | -3,958 | -4,478 | -3,099 | -3,888 | -2,454 |
| | a_1 | 1,977 | 2,226 | 2,577 | 2,005 | 2,433 |
| | R^2 | 0,996 | 0,981 | 0,998 | 0,988 | 0,999 |
| Посадка местами, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант IV) | | | | | | |
| 1445 | a_0 | -3,758 | -4,297 | -2,624 | -3,523 | -2,051 |
| | a_1 | 1,967 | 2,238 | 2,435 | 1,916 | 2,330 |
| | R^2 | 0,993 | 0,995 | 0,993 | 0,999 | 0,997 |

О к о н ч а н и е т а б л . 6

| Густота древостоя, экз./га | Константы и R ² | Обозначения фракций фитомассы | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| | | P _F | P _{BR} | P _{ST} | P _B | P _{ТОГ} |
| Уравнение (1) | | | | | | |
| Рядовая посадка, начальная густота 4 тыс. экз/га (вариант V) | | | | | | |
| 1370 | a ₀ | -3,185 | -4,935 | -2,830 | -3,613 | -2,267 |
| | a ₁ | 1,825 | 2,543 | 2,492 | 1,940 | 2,400 |
| | R ² | 0,980 | 0,995 | 0,995 | 0,984 | 0,991 |
| Обобщенное уравнение (2) | | | | | | |
| - | a ₀ | 0,278 | -2,565 | 0,0564 | 0,309 | 0,882 |
| | a ₁ | 1,281 | 2,670 | 1,742 | 0,940 | 1,695 |
| | a ₂ | -0,546 | -0,238 | -0,379 | -0,527 | -0,409 |
| | a ₃ | 0,091 | -0,059 | 0,0988 | 0,134 | 0,089 |
| | R ² | 0,992 | 0,990 | 0,995 | 0,992 | 0,997 |

Значения фитомассы на 1 га, рассчитанные с использованием уравнений (1) и данных перерасчетов деревьев по ступеням толщины, приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Результаты расчета фитомассы на 1 га древостоя по уравнениям (1) в возрасте 21 и 59 лет

| № варианта | Густота древостоя, экз./га | Фитомасса, т/га | | | | | |
|----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| | | P _F | P _{BR} | P _{ST} | P _B | P _{ТОГ} * | P _{ТОГ} ** |
| Возраст 21 год | | | | | | | |
| 1 | 8440 | 3,65 | 4,46 | 16,0 | 3,47 | 27,6 | 27,7 |
| 2 | 6560 | 3,33 | 4,07 | 15,6 | 3,55 | 26,6 | 26,7 |
| 3 | 4080 | 3,29 | 3,98 | 14,9 | 3,20 | 25,4 | 25,4 |
| 4 | 1188 | 2,23 | 2,92 | 9,42 | 2,72 | 17,3 | 17,3 |
| Возраст 59 лет | | | | | | | |
| 1 | 4270 | 5,40 | 5,79 | 71,3 | 6,93 | 89,4 | 89,9 |
| 2 | 3733 | 5,90 | 6,51 | 72,4 | 7,18 | 92,0 | 92,7 |
| 3 | 2883 | 6,57 | 7,66 | 80,1 | 7,60 | 101,9 | 102,4 |
| 4 | 1445 | 8,48 | 11,03 | 105,7 | 9,23 | 134,4 | 136,9 |

Примечание: Здесь и далее P_{ТОГ}* и P_{ТОГ}** – значения надземной фитомассы, полученные соответственно суммированием масс фракций и расчетом уравнений (1) и (2).

Кроме закономерности возрастного изменения фитомассы в исследованном возрастном диапазоне, представляет интерес процесс перегруппировки густотных вариантов по их биопродуктивности. В нашей работе [7] на основе анализа нескольких густотных экспериментов, заложенных в культурах сосны обыкновенной на территории бывшего СССР, было установлено, что в течение первых 15–29 лет после посадки, т.е. до смыкания крон и корней и соответственно до вступления древостоев в фазу интенсивных конкурентных отношений, стволовый запас культур одного и того же возраста (в статике) пропорционален густоте посадки. С возраста 17–39 лет начинается перегруппировка густотных вариантов по продуктивности.

Путем нанесения данных табл. 7 на графики мы получили возможность наглядно представить особенности возрастного изменения фитомассы в разных густотных вариантах и конкретизировать возраст культур, при котором начинается конкуренция за ресурсы среды (см. рис. на с. 45). Мы видим, что в возрасте 22–30 лет прямо пропорциональная зависимость биопродуктивности от начальной густоты посадки меняется на противоположную, причем равенство разнототных вариантов по стволовой массе наступает раньше (около 22 лет), а по массе крон – позднее (около 30 лет). Это несколько неожиданно, поскольку известно, что на разреживание древостоя при рубках ухода масса крон реагирует в первую очередь вследствие их экспансии в освободившееся пространство. В данном случае динамика крон как бы «отстает» от стволовой массы.

Наряду с однофакторной зависимостью (1) для составления таблиц фитомассы для разнототных культур необходимо оценить «продвинутое» модели с числом независимых переменных, соответствующим числу входов в таблицы. В предыдущей статье [1] было показано, что наиболее соответствующей названной цели является следующая структура уравнения:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln N + a_3 \ln D \ln N, \quad (2)$$

где N – текущая густота древостоев культур, экз/га.

Характеристика уравнения (2) приведена в табл. 5 и 6. Результаты расчета фитомассы на 1 га по уравнению (2) сведены в табл. 8.

Для суждения о возможности или невозможности использования модели фитомассы деревьев (2) в качестве «всеобщей» наличия высокого коэффициента детерминации недостаточно [1], и модель должна быть верифицирована на уровне не только деревьев, но и конкретных древостоев.

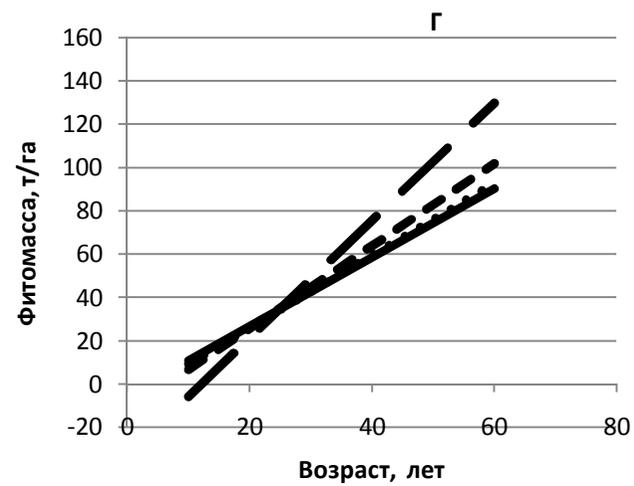
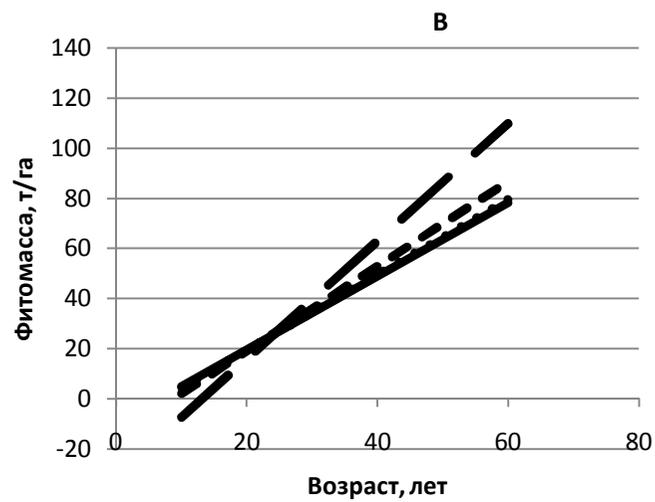
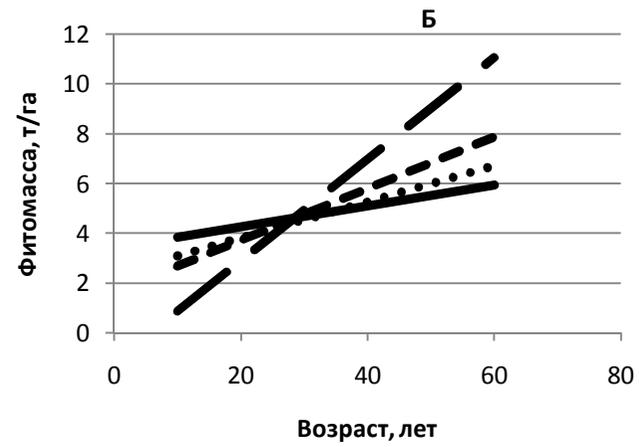
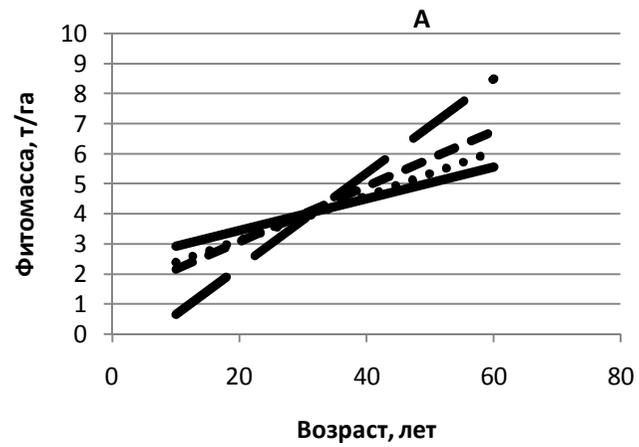
Т а б л и ц а 8

Результаты расчета фитомассы на 1 га древостоя по уравнению (2) в возрасте 21 и 59 лет

| № варианта | Густота древостоя, экз./га | Фитомасса, т/га | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|----------|----------|-------|-------------|----------------|
| | | P_F | P_{BR} | P_{ST} | P_B | P_{TOT}^* | P_{TOT}^{**} |
| Возраст 21 год | | | | | | | |
| 1 | 8440 | 3,47 | 4,15 | 15,7 | 3,36 | 26,7 | 26,8 |
| 2 | 6560 | 3,44 | 4,20 | 15,6 | 3,42 | 26,7 | 26,8 |
| 3 | 4080 | 3,40 | 4,24 | 15,3 | 3,53 | 26,4 | 26,5 |
| 4 | 1188 | 2,19 | 2,85 | 9,42 | 2,65 | 17,1 | 17,1 |
| Возраст 59 лет | | | | | | | |
| 1 | 4270 | 5,50 | 5,95 | 70,8 | 6,90 | 89,1 | 89,4 |
| 2 | 3733 | 5,87 | 6,46 | 72,5 | 7,19 | 92,0 | 92,8 |
| 3 | 2883 | 6,41 | 7,32 | 80,5 | 7,66 | 101,8 | 102,9 |
| 4 | 1445 | 8,52 | 11,2 | 105,9 | 9,20 | 134,9 | 137,3 |

Примечание: Здесь и далее P_{TOT}^* и P_{TOT}^{**} – значения надземной фитомассы, полученные соответственно суммированием масс фракций и расчетом уравнений (1) и (2).

Расчет ошибок определения запасов фитомассы на 1 га (табл. 9) показал, что систематические ошибки значений фитомассы на 1 га, рассчитанные по обобщенному уравнению (2) относительно таковых, рассчитанных по уравнению (1), «исчезающе малы», а величина случайной ошибки существенно ниже по сравнению с ошибками экспериментального определения фитомассы на пробных площадях.



Зависимость фитомассы хвои (А); ветвей (Б); стволовой древесины (В); общей надземной (Г) от возраста, по вариантам начальной густоты (обозначены цифрами): 1, 2, 3 и 4 – соответственно 40, 20, 10 и 4 тыс. экз./га

Т а б л и ц а 9

Ошибки значений фитомассы на 1 га, рассчитанных по уравнению (2) относительно таковых, рассчитанных по уравнению (1)

| Ошибка определения, % | P_F | P_{BR} | P_{ST} | P_B | P_{TOT} |
|-----------------------|-------|----------|----------|-------|-----------|
| Возраст 21 год | | | | | |
| Систематическая | -0,01 | 0,17 | -0,01 | 0,17 | -0,004 |
| Случайная | 4,03 | 5,99 | 1,86 | 6,70 | 3,15 |
| Возраст 59 лет | | | | | |
| Систематическая | -0,14 | -0,95 | 0,04 | 0,04 | 0,002 |
| Случайная | 1,78 | 3,16 | 0,50 | 0,53 | 0,25 |

Заключение. При посадке сосны в диапазоне начальных густот от 4 до 40 тыс. экз./га наиболее густые посадки имеют наибольшую фитомассу на единице площади лишь до возраста 22–30 лет, после чего наступает перегруппировка древостоев по продуктивности в данном диапазоне начальных густот и зависимость биопродуктивности от начальной густоты меняется на противоположную. Обобщенные уравнения (2) могут быть использованы для составления таблиц фитомассы гнездовых культур в Алтайском крае для деревьев – по двум входам (диаметр ствола и густота древостоя), а для древостоев – по одному (текущая густота, изменяющаяся с возрастом).

Список литературы

1. Маленко, А. А. Разногустотные культуры сосны в ленточных борах Алтайского края: фитомасса и ошибки ее определения / А. А. Маленко, В. А. Усольцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 8 (58). – С. 48–54.
2. Грибанов, Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана / Л. Н. Грибанов. – М. –Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 156 с.
3. Аскарлов, К. Ж. Рост и продуктивность культур сосны разной густоты местами в ленточных борах Прииртышья: Автореф. дис....канд. с.-х. наук / К. Ж. Аскарлов. – Алма-Ата: КазСХИ, 1974. – 23 с.
4. Чардымов, Н. П. Чистые сосновые культуры на донных песках Бузулукского бора / Н. П. Чардымов // Бузулукский бор. Т. 1.: Общий очерк и лесные культуры – М. –Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 143–212.
5. Нестеров, В. Г. Основные черты процесса усыхания сосны // Бузулукский бор. Т. 1: Общий очерк и лесные культуры / В. Г. Нестеров. – М. –Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 65–78.
6. Годнев, Е. Д. Густота культур сосны как фактор их устойчивости / Е. Д. Годнев // Лесное хозяйство. – 1957. – № 4. –С. 30–35.
7. Усольцев, В. А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации / В. А. Усольцев, А. А. Маленко // Ботанические исследования в Сибири. – 2008. – Вып. 16. – С. 136–164.
8. Молчанов, А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1967. – 100 с.

Статья поступила в редакцию 19.06.10.

A. A. Malenko, V. A. Usoltsev

**BIOMASS AGE CHANGE IN PINE PLANTATIONS
OF DIFFERENT DENSITY NEST-SHAPES PINES
IN ALTAI REGION AND SOME ERRORS IN ITS DEFINITION**

Tree biomass fraction structure detection in the nest-shaped cultures of the scotch-pine in the age of 21 and 59 years with initial planting density 4, 10, 20 and 40 thousands seedlings per ha was estimated. Stems, branches and fir-needles biomass indices of trees and stands are analyzed in connection with tree density. The tree biomass unified equations accuracy is shown.

Key words: forest plantation, tree biomass, bon-dry condition, fractional structure, planting density, current density.

МАЛЕНКО Александр Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства Алтайского государственного аграрного университета. Область научных интересов – рост, продуктивность искусственных насаждений. Автор 50 публикаций.

E-mail: malenko51@mail.ru

УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры менеджмента Уральского государственного лесотехнического университета, Заслуженный лесовод России. Область научных интересов – лесная экология. Автор более 400 публикаций.

E-mail: Usoltsev50@mail.ru