

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*52:630\*174.754+581.55:56.017

*В. А. Усольцев, М. М. Семышев*

### ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНЦИИ ДЕРЕВЬЕВ В ИСКУССТВЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

*По материалам 10 и 4 пробных площадей, заложенных соответственно в искусственных и естественных двадцатилетних чистых сосняках Аман-Карагайского бора (Северный Казахстан), исследовано влияние индексов конкуренции на точность оценки фитомассы и годовичного прироста ствола дерева. С целью исключить зависимость величины радиуса влияния соседей на модельное дерево от его размера предложен метод оценки фитомассы и прироста дерева посредством регрессионных моделей, включающих в себя в качестве независимых переменных не только индекс конкуренции, но и основные таксационные показатели дерева – диаметр ствола и высоту. Установлено, что при увеличении радиуса влияния коэффициент детерминации регрессионных уравнений вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается. Величина оптимального радиуса влияния составляет в естественных сосняках 1,8–2,0 м, что меньше, чем в культурах (3,0–3,2 м), в связи с меньшей густотой последних.*

**Ключевые слова:** *лесное насаждение, фитомасса дерева, годовичный прирост ствола, естественный сосняк, культуры сосны, аллометрические уравнения, индекс конкуренции.*

**Введение.** Многочисленные исследования в области фитоценологии свидетельствуют о большой роли во взаимоотношениях растений процессов конкуренции за ресурсы среды, связанных с характером размещения деревьев на площади. Поэтому при моделировании роста и биопродуктивности деревьев в насаждениях и динамики органического вещества в лесных экосистемах конкурентные отношения должны учитываться [1]. В прикладном аспекте учет конкурентных отношений между деревьями необходим для повышения точности оценки фитомассы и годовичного прироста как деревьев, так и насаждений в целом.

По мнению С. Н. Сеннова [2], из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, легче всего определить с использованием индекса конкуренции

(*CI*), поскольку в методическом отношении это довольно просто. Предложено несколько десятков эмпирических индексов конкуренции. Отметим лишь некоторые из них [3–12].

Для понимания механизмов конкуренции необходимо знать особенности размещения деревьев на площади, и этой проблеме посвящено множество публикаций [13–20]. В частности, применяют мозаику полигонов Вороного-Дирихле [20] и Штера [21]. В. В. Плотниковым [17] предложен способ оценки и сравнения характера размещения особей на пробных площадях, основанный на статистическом анализе варьирования плотности на учетных площадках, перекрывающихся между собой. Тип размещения особей при этом оценивается по характеру распределения частот плотностей. В работе [18] описан способ построения радиальной функции распределения по известным координатам. Получаемая радиальная функция распределения обладает характерными параметрами, имеющими биологический смысл.

При определении конкурентного статуса дерева и влияния конкуренции на его рост и продуктивность особую важность имеет нахождение оптимального расстояния, на котором происходит взаимодействие деревьев, или на котором растения «чувствуют» друг друга [5, 11, 12, 22].

П. Я. Грабарник [1] под моделированием конкуренции понимает использование индексов конкуренции как объясняющих переменных в регрессионных моделях роста индивидуального дерева. Детальный анализ взаимосвязи радиального прироста сосны и *CI* [22] показал, что коэффициент детерминации ( $R^2$ ) в уравнении названной связи объясняет долю изменчивости прироста на 56,4%. Исследование зависимости *радиальный прирост* ~ *CI* в диапазоне радиуса влияния (радиуса пространственного взаимодействия) от 1 до 9 м выявило наличие максимума  $R^2$  при учете «соседей» в радиусе 5–6 м, что составляет половину средней высоты деревьев в древостое.

Дж. Мур с соавторами [23] исследовали в дубовых насаждениях влияние *CI*, основанного на измерении размеров деревьев и расстояний между ними, на 10-летний прирост площади сечения ствола, причем в уравнение зависимости кроме *CI* были включены таксационные характеристики центрального дерева (subject tree): диаметр на высоте груди, высота дерева, площадь проекции кроны и возраст. Установлено, что включение *CI* в уравнение в дополнение к характеристикам центрального дерева повышало степень объяснения изменчивости прироста (по  $R^2$ ) на 4–9 % (например, с 0,706 до 0,749 или с 0,665 до 0,758).

Проведенный анализ методов учета конкурентных отношений посредством различных *CI* и влияния последних на продукционные характеристики дерева показал, что это влияние оценивается в одних случаях без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния [22], а в других случаях – с учетом названных характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния [23]. **Целью** исследований явилась попытка совместить названные подходы и выявить влияние нескольких *CI* на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния в 20-летних чистых естественных и искусственных сосняках.

**Объекты и методы исследования.** Район исследований относится к провинции Тоболо-Убаганской равнинной степной зоны Казахстана, которая расположена между Зауральским плато на западе, Тургайским плато на юге, левобережьем Ишима на востоке и колочной лесостепной равниной на севере. Исследования проведены в бору Аман-Карагай, находящемся на левобережье р. Убаган, в 110 км к юго-востоку от г. Кустанай. Бор площадью 80,9 тыс. га [24] представляет собой два песчаных, вытянутых

в северо-восточном направлении массива, которые располагаются на территории Басаманского и Семиозерного лесхозов Кустанайской области.

Объекты исследований расположены в Басаманском лесхозе Кустанайской области. Заложены 10 пробных площадей в культурах и 4 – в естественных сосняках. Культуры характеризуются двумя типами лесорастительных условий: влажный бор, Ia–II классы, и сухой бор, III класс бонитета, а все пробные площади естественных сосняков заложены в типе сухой бор, III–IV классы бонитета (табл. 1). Почвы в естественных сосняках – боровые, а в культурах – дерново-боровые и темно-каштановые с различным уровнем залегания грунтовых вод.

Пробные площади закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». Каждая пробная площадь закартирована. После отграничения пробной площади в культурах измеряемые расстояния между рядами и между деревьями в ряду наносились непосредственно на миллиметровку, а в естественных сосняках в качестве вспомогательных линий были натянуты шнуры в двух перпендикулярных направлениях с шагом в один метр, и в пределах каждого квадрата, нанесенного на миллиметровку, измеряли расстояние каждого дерева от его сторон. Измерялись штангенциркулем диаметры на высоте груди в двух направлениях с точностью до 1 мм, а также высоты и проекции крон в четырех направлениях всех деревьев с помощью рейки с делениями, кратными 10 см.

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели искусственных и естественных сосняков на пробных площадях Аман-Карагайского бора**

Номер пробной площади	Таксационные показатели						
	Возраст, лет	Класс бонитета	Число деревьев на 1 га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га
Культуры							
8	22	II	4862	8,1	7,4	25,1	130
13	23	I	3826	11,0	10,2	36,1	220
20	25	III	8637	7,0	7,5	33,2	149
22	21	III	3238	7,7	5,5	15,0	54
23	20	II	6333	7,0	7,0	24,2	100
25	24	Ia	5340	10,5	11,4	46,5	295
26	22	I	4244	9,6	9,2	30,4	166
30	26	I	6085	8,8	9,9	36,7	192
49	19	II	4446	7,9	6,1	22,0	88
50	19	Ia	7002	9,0	9,5	44,2	233
Естественные сосняки							
1	20	III-IV	44430	3,0	4,6	32,2	111
2	20	III-IV	19760	3,6	4,3	19,8	63
3	20	IV	12286	3,3	3,4	10,3	36
6	22	III	43810	3,3	5,6	36,5	142

Используя эти данные, на планшет наносили проекции кроны каждого дерева. Принадлежность кроны к тому или иному дереву обозначалась с помощью стрелки, проведенной от ствола дерева на уровне поверхности земли до овальной проекции кроны. Результаты картирования (планшеты) оцифрованы, переведены в виртуальный формат с помощью графических компьютерных программ и на их основе выполнены все измерения, необходимые для расчета *CI* и радиусов конкурентного влияния – рас-

стояния от модельного (центрального) дерева до конкурентов на различном удалении, площади проекции крон и их взаимного перекрытия и др. (рис. 1 и 2). Использованы программы Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW.

После завершения перечета деревьев с использованием рядов их распределения по диаметру осуществлялся отбор модельных деревьев для определения их фитомассы и годовичного прироста. Их брали в августе после полного формирования хвои в количестве от 8 до 10 на каждой пробной площади по ступеням толщины в пределах ее варьирования. Методика определения фракционного состава фитомассы и прироста ствола изложена ранее [25]. Все данные по четырем пробным площадям естественных сосняков взяты из работы А. С. Касаткина [26].

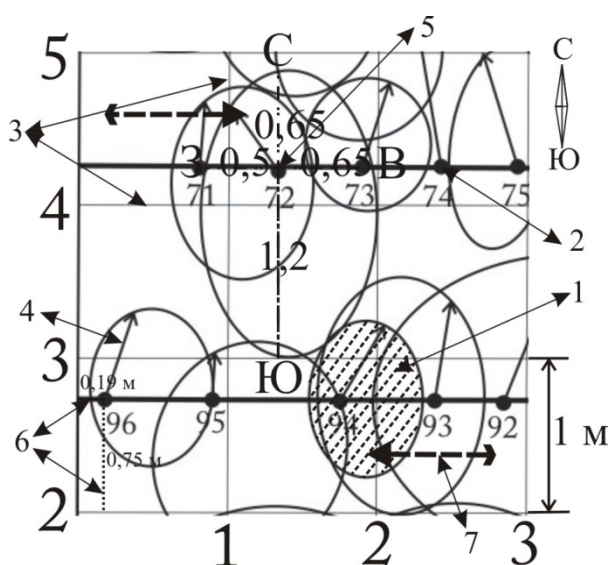


Рис. 1. Фрагмент оцифрованного плана пробной площади № 30: 1 – проекция кроны дерева; 2 – положение ствола дерева на уровне земли; 3 – вспомогательные горизонтальные и вертикальные линии; 4 – стрелка, показывающая принадлежность кроны к тому или иному дереву; 5 – распространение кроны по частям света, м; 6 – измерение координат стволов деревьев; 7 – направление движения маршрута при сплошном перечете

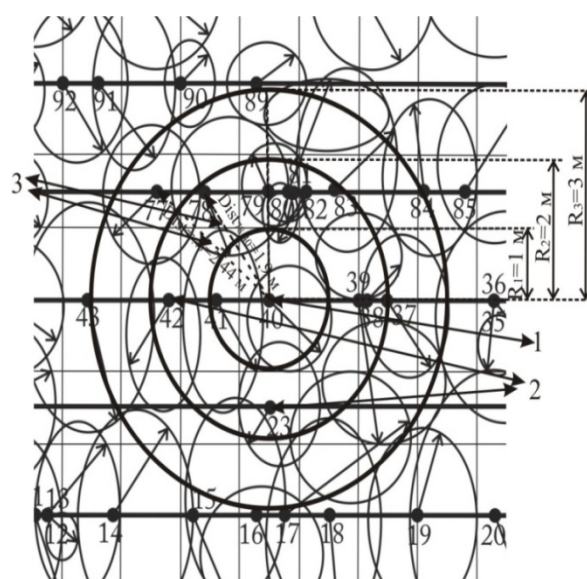


Рис. 2. Фрагмент пробной площади № 8, на котором показан принцип получения исходной информации для расчета СИ: 1 – ствол центрального дерева, (j); 2 – стволы конкурирующих деревьев (i); 3 – расстояние от центрального дерева до конкурентов, м

**Результаты и их обсуждение.** Для установления типа горизонтального распределения деревьев в насаждении, определяющего процесс их конкурентных взаимоотношений, нами выбрано три способа для сравнительного анализа типов горизонтальной структуры древостоев на наших пробных площадях: графический [17], расчетно-графический [18] и расчетно-математический [27], адаптированный к специфике нашей задачи. В качестве учетной площадки принят круг, в центре которого находилось модельное дерево, на котором выполнены все измерения. Принцип получения данных для расчетно-графического способа показан на рис. 3. Результаты расчетов по трем способам показали, что на пробных площадях преобладает групповое распределение деревьев, причем не только в естественных сосняках, в которых групповой характер выражен уже на этапе возобновления, но и в культурах.

Имеются работы, в которых выполнен сравнительный анализ различных СИ для оценки радиального прироста деревьев [11, 12, 21, 28,]. Коэффициенты  $R^2$  уравнений связи прироста с СИ варьируют в пределах от 0,46 до 0,61, т.е. объясняют от 46 до 61 %

изменчивости прироста, причем наиболее сложные индексы не всегда являются и наиболее информативными. По данным В. В. Кузьмичева с соавторами [21], лучший результат при оценке текущего прироста деревьев дает метод Белла [5], однако он связан с очень большими трудностями при получении необходимых исходных данных, что исключает его практическое применение. Проведенный нами анализ существующих *CI* показал [29, 30], что к оптимальным, т.е. дающим наибольшую точность при наименьших затратах, можно отнести восемь индексов, предложенных в работах [4, 6, 7, 8, 12, 26, 30, 31] (табл. 2).

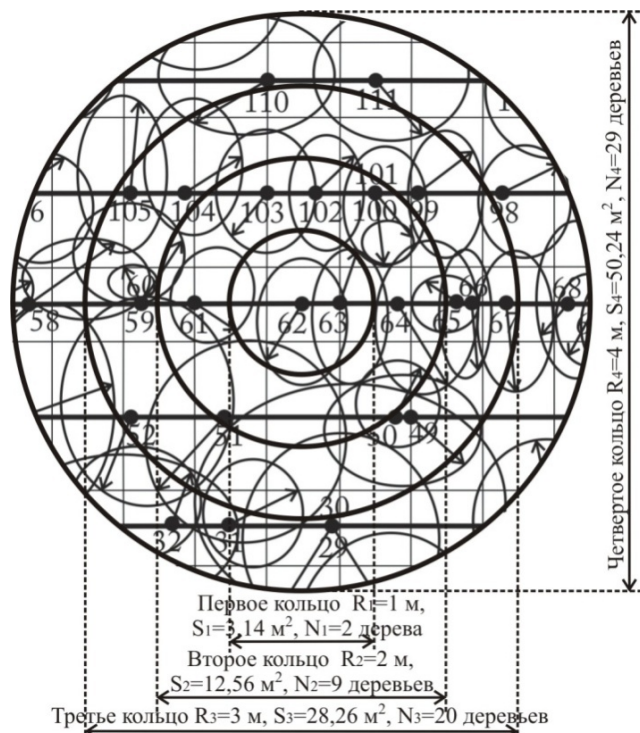


Рис. 3. Принцип получения данных для расчета радиальной функции распределения на примере ПП № 8

Т а б л и ц а 2

Сводка формул для расчета индексов конкуренции

Формула	Авторы	Обозначения
$\sum_{i=1}^n Dist_{ij}$	[33]	$d_j$ и $d_i$ – диаметр центрального $j$ и конкурирующего $i$ дерева;
$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	[25]	$h_j$ и $h_i$ – высота центрального $j$ и конкурирующего дерева $i$ ;
$\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	[23]	$Dist_{ij}$ – расстояние между центральным деревом и конкурентом;
$\sum_{i=1}^n \left( \pi \left[ \frac{d_j \times Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right]^2 \left[ \frac{d_i / Dist_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_i / Dist_{ij}} \right] \right)$	[20]	$dcr_j$ и $dcr_i$ – диаметры кроны центрального $j$ и конкурирующего $i$ дерева;
$\sum_{i=1}^n \left( \frac{d_i}{d_j} \exp \left[ \frac{16 \cdot Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right] \right), (i \neq j)$	[29]	$lcr_j$ и $lcr_i$ – длина кроны центрального $j$ и конкурирующего дерева $i$ ;

О к о н ч а н и е т а б л . 2

Формула	Авторы	Обозначения
$\sum_{i=1}^n \frac{dcr_i}{dcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	[22]	exp – экспонента; k – величина от 0 до 1, k = 0, если радиус соседнего дерева i меньше, чем центрального j; k = 1, если радиус соседнего дерева i больше, чем центрального j
$U_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ij}$	[26]	
$\sum_{i=1}^n \frac{lcr_i}{lcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	[7]	

Поскольку доля объясненной изменчивости прироста посредством одного лишь *CI* относительно низкая, прогнозирование прироста может быть недостаточно надежным. Поэтому необходимо выяснить возможности повышения точности оценки как годового прироста ствола, так и фитомассы дерева, путем использования в качестве предикторов не только *CI*, но и массообразующих (таксационных) показателей деревьев на основе аллометрического метода [32].

Обычно при оценке биопродукционных показателей деревьев используются в качестве регрессоров их легко измеряемые массообразующие показатели: диаметр ствола (*D*, см) и высота дерева (*H*, м). С целью статистической проверки предположения о влиянии конкуренции на точность оценки фитомассы нами в качестве третьего фактора в регрессионное уравнение включено значение рассчитанного индекса конкуренции:

$$\ln(Pa) \text{ или } \ln(ZG) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln CI, \quad (1)$$

где *Pa* – надземная масса дерева, кг; *ZG* – годичный прирост площади сечения ствола ( $\text{мм}^2$ ), средний за последние пять лет.

Для каждой пробной площади рассчитано по 96 уравнений регрессии (2 зависимых переменных, 8 индексов конкуренции на шести радиусах влияния), а по всем пробным площадям – в культурах 960 и в естественных сосняках 384 уравнения. Составлены таблицы, в которых приведены диапазоны варьирования значений коэффициентов детерминации ( $R^2$ ) в уравнениях (1). Диапазоны приняты исходя из максимального и минимального значений  $R^2$  в рамках одной пробной площади и одного биопродукционного показателя. Установлено, что значение  $R^2$  практически не зависит от способа, по которому рассчитан индекс конкуренции.

С целью проверки статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности уравнений (1) проанализирована связь полученных значений  $R^2$  с величиной радиуса влияния  $R_{inf}$  для совокупности трех наиболее приемлемых индексов конкуренции, предложенных в работах [7, 12, 29,]. Установлено, что оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина в естественных сосняках меньше (около 2 м), чем в культурах (около 3 м) (рис. 4), что объясняется меньшей плотностью последних. Полученные результаты дают возможность оценки продукционных показателей деревьев в сосновых молодняках с учетом индексов конкуренции.

После выявления оптимальных радиусов влияния и соответствующих этим оптимумам максимальных значений индекса конкуренции путем регрессионного анализа нами проанализировано влияние последнего на фитомассу и годичный прирост дерева. Рассчитаны уравнения, в которые включены лишь размеры модельного дерева *D* и *H*:

$$\ln(Pa) \text{ или } \ln(ZG) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H, \quad (2)$$

и сравнены характеристики уравнений (1) и (2). Установлено, что доля изменчивости продукционных показателей, объясняемых уравнениями (1), выше по сравнению с уравнениями (2): для надземной фитомассы на 5% и для годичного прироста площади сечения ствола – на 11%. При регрессионной оценке прироста площади сечения в дубовых древостоях [23] соответствующее превышение варьировало в пределах 4–9 %, что, по крайней мере, не выше, чем в нашем исследовании. Сказанное означает, что использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния существенно повышает адекватность регрессионных уравнений продукционных показателей дерева.

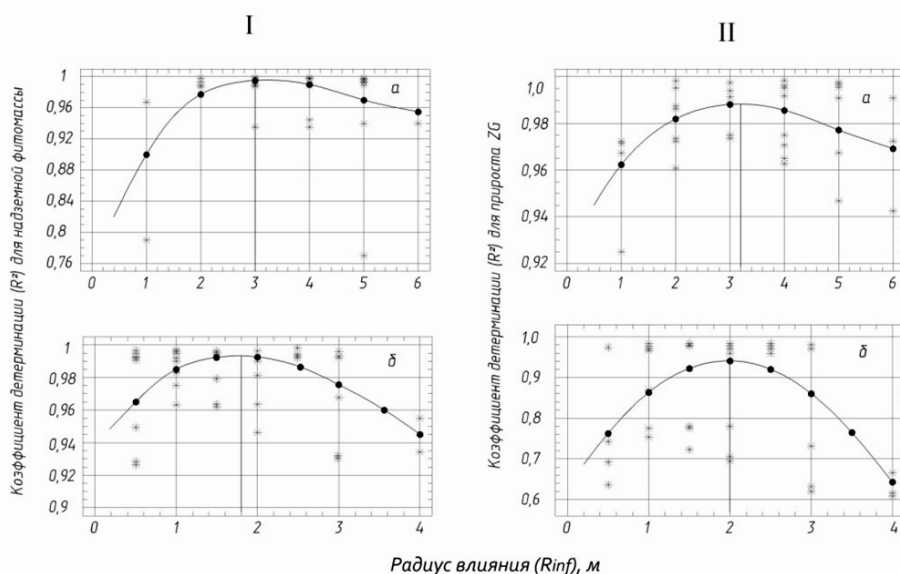


Рис. 4. Зависимость коэффициента детерминации уравнений (1) для культур (а) и естественных сосняков (б) от величины радиуса влияния;  
I – для надземной фитомассы, II – для прироста площади сечения ствола

### Выводы

1. В результате анализа многочисленных способов определения индекса конкуренции в насаждениях отобрано для последующего анализа восемь способов, наиболее приемлемых по соотношению их информативности и трудоемкости получения и в наибольшей степени соответствующих целям исследования.

2. С целью исключить зависимость величины радиуса влияния от размера дерева предложен метод оценки степени влияния конкуренции на фитомассу и прирост посредством их регрессионных моделей, включающих в себя в качестве независимых переменных не только индекс конкуренции, но и основные таксационные показатели дерева – диаметр ствола и высоту.

3. С целью установления статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности регрессионных моделей, выражаемой коэффициентом детерминации  $R^2$ , проанализирована связь полученных значений  $R^2$  с величиной радиуса влияния  $R_{inf}$ . Установлено, что при увеличении радиуса влияния коэффициент детерминации регрессионных уравнений вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается.

4. Оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина составляет в естественных сосняках меньше (около 2 м), чем в культурах (около 3 м), что объясняется меньшей густотой последних. Полученные результаты дают возможность оценки продукционных показателей деревьев в сосновых молодняках с учетом индексов конкуренции.

5. Использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния и горизонтальной структуры древостоя существенно повышает адекватность регрессионных уравнений, оценивающих продукционные показатели дерева.

### Список литературы

1. Грабарник, П. Я. Моделирование пространственной структуры древостоев / П. Я. Грабарник // Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. – М.: Наука, 2007. – С. 132–146.
2. Сеннов, С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях / С. Н. Сеннов // Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. – 1993. – С. 160–172.
3. Санникова, Н. С. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений / Н. С. Санникова. – Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1992. – 63 с.
4. Alemdag, I. S. Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted white spruce / I. S. Alemdag // Canadian Forest Service Management Institute Inf. Rep. FMR-X-108. – 1978. – 39 p.
5. Bella, I. E. A new competition model for individual trees / I. E. Bella // Forest Science. – 1971. – Vol. 17. – No 3. – P. 364–372.
6. Biging, G. S. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees / G. S. Biging, M. Dobbertin // Forest Science. – 1992. – Vol. 38. – P. 695–720.
7. Hegyi, F. A simulation model for managing jack pine stands / F. Hegyi // Growth models for tree and stand simulation (J. Fries, ed.). – Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden. – 1974. – Res. Note No. 30. – P. 74–90.
8. Hui, G. Y. Das Umgebungsmab als Parameter zur Nachbildung von Bestandesstrukturen / G. Y. Hui, M. Albert, K. Gadow // Forstwissenschaftlicher Centralblatt. – 1998. – Vol. 117. – P. 258–266.
9. Krajicek, J. Crown competition – a measure of density / J. Krajicek, K. Brinkman, S. Gingrich // Forest Science. – 1961. – No 1. – Vol. 8. – P. 35–42.
10. Newnham, R. M. The development of a stand model for Douglas-fir / R. M. Newnham // Ph.D. thesis, The Univ. of British Columbia. – Vancouver, 1964. – 201 p.
11. Pukkala, T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine / T. Pukkala, T. Kolström // Silva Fennica. – 1987. – Vol. 21. – No. 1. – P. 55–67.
12. Stadt, K. J. A comparison on non-spatial and spatial, empirical and resource-based competition indices for predicting the diameter growth of trees in maturing boreal mixed wood stands / K. J. Stadt, C. Huston, V. J. Lieffers // Department of Renewable Resources, University of Alberta. Project Report 2002-8. – Edmonton, 2002. – 32 p.
13. Галл, Я. М. Борьба за существование как фактор эволюции / Я. М. Галл. – Л.: Наука, 1976. – 156 с.
14. Грейг-Смит, П. Количественная экология растений / П. Грейг-Смит. – М.: Мир, 1967. – 360 с.
15. Ипатов, В. С. Количественный анализ ценологических эффектов в размещении деревьев по территории / В. С. Ипатов, Т. Н. Тархова // Ботанический журнал. – 1975. – № 9. – С. 1237–1250.
16. Миркин, Б. М. Фитоценология. Принципы и методы / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 211 с.
17. Плотников, В. В. Эволюция структуры растительных сообществ / В. В. Плотников. – М.: Наука, 1979. – 276 с.
18. Секретенко, О. П. Метод анализа пространственной структуры древостоев / О. П. Секретенко // Исследование структуры насаждения. – Красноярск: Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1984. – С. 88–101.
19. Смулов, А. В. Статистические методы в исследовании пространственного размещения организмов / А. В. Смулов // Методы почвенно-зоологических исследований. – М.: Наука, 1975. – С. 217–240.
20. Галицкий, В. В. О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе / В. В. Галицкий. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1980. – 48 с.
21. Кузьмичев, В. В. Оценка взаимодействия деревьев в лесных фитоценозах / В. В. Кузьмичев, Т. Н. Миндеева, В. П. Черкашин // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологических наук. – 1989. – № 3. – С. 133–139.
22. Миндеева, Т. Н. Факторы изменчивости радиального прироста в одновозрастных сосняках / Т. Н. Миндеева; Автореф. дис... канд. с.- х. наук. – Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, 1995. – 20 с.
23. Moore, J. A. A new index representing individual tree competitive status / J. A. Moore, C. A. Budelsky, R. C. Schlesinger // Canadian Journal Forest Research. – 1973. – Vol. 3. – P. 495–500.



24. Грибанов, Л. Н. Леса Казахстана / Л. Н. Грибанов, И. А. Лагов, П. С. Чабан // Леса СССР. Т. 5. – М.: Наука, 1970. – С. 5–75.
25. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637с.
26. Касаткин, А. С. Влияние конкурентных отношений на точность оценки фитомассы и годового прироста деревьев в сосняках: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А. С. Касаткин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 23 с.
27. Donnelly, K. P. Simulation to determine the variance and edge-effects of total nearest neighbour distance / K. P. Donnelly // Hodder I. R. (Ed.), Simulation Methods in Archaeology. – Cambridge University Press. – London, 1978. – P. 91–95.
28. Ledermann, T. Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition / T. Ledermann, A. R. Stage // Canadian Journal Forest Research. – 2001. – Vol. 31. – P. 2143–2150.
29. Касаткин, А. С. Индексы конкуренции в лесных насаждениях / А. С. Касаткин, М. М. Семьшев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – Вып. 21. – С. 88–90.
30. Касаткин, А. С. Классификация индексов конкуренции в древостоях / А. С. Касаткин, В. А. Усольцев, М. М. Семьшев // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 2009. – С. 108–113; Усольцев, В. А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 216 с.
31. Braathe, P. Height increment of young single trees in relation to height and distance of neighboring trees / P. Braathe // Mitteilungen fuer Forst Versuchswesen Anstalt. – 1980. – Vol. 130. – P. 43–48.
32. Martin, G. L. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth / G. L. Martin, A. R. Ek // Forest Science. – 1984. – Vol. 30. – P. 731–743.
33. Stadt, K. J. A comparison on non-spatial and spatial, empirical and resource-based competition indices for predicting the diameter growth of trees in maturing boreal mixed wood stands / K. J. Stadt // Department of Renewable Resources, University of Alberta. Project Report 2002–8. Edmonton, 2002. – 32 p.

Работа поддержана РФФИ, грант № 09-05-00508, и Программой Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Статья поступила в редакцию 11.05.10.

V. A. Ussoltsev, M. M. Semyshev

#### PRODUCTION CHARACTERISTICS WITH TAKING INTO ACCOUNT TREE COMPETITIVENESS OF ARTIFICIAL AND NATURAL PINE FORESTS: COMPARATIVE ANALYSIS

*On the materials of 10 and 4 sampling areas, created in artificial and natural 20-year-old pure pine-forests of Aman-Karagai region (North Kazakhstan), competitiveness index influence on phytomass estimation accuracy and trunk annual growth of the tree were studied. With the aim to exclude radius size dependence of neighbours influence on the model tree, a phytomass and tree growth estimation method by means of regressive models including both competitiveness index and main taxation tree indexes – trunk diameter and tree height. It was found out that when a growing radius influence on determination coefficient of regression equations, at first it grows but having achieved the maximum and as far as further removal from the central tree, it reduces. The size of the optimal radius of influence is 1,8-2,0 m in natural pine forests, this figure is less than in the cultures (3,0 – 3,2), in connection with less density of the last mentioned.*

**Key words:** forest stand, tree biomass, trunk annual growth, natural Scotch pine forest, pine cultures, allometric equation, competitiveness index.

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

E-mail: Usoltsev50@mail.ru

СЕМЬШЕВ Михаил Маркелович – аспирант Уральского государственного лесотехнического университета. Область научных интересов – лесная экология. Автор шести публикаций.

E-mail: forst65@rambler.ru