

Корреляционное отношение (η) между уровнями фенотипического разнообразия *Quercus robur* (D_A) и *Phellinus robustus* (D_{Ph})

Исследуемые параметры	n число наблюдений	η корреляционное отношение	m ошибка корреляционного отношения	α уровень значимости, %
$D_A \div D_{Ph}$	12	0,82	$\pm 0,06$	5

Как следует из данных таблицы 4, корреляционное отношение (0,82) существенно при 5%-ном уровне значимости. Биологический смысл данного феномена во взаимосвязанности биоразнообразия компонентов паразито-хозяйной системы «древесное растение – паразит».

Таким образом, уровень генетического разнообразия дубовых насаждений коррелирует с уровнем их биорезистентности и общей стабильности; возможно, большее генетическое разнообразие популяций лесообразующих пород является предпосылкой экологической стабильности настоящих лесов и их будущих поколений; сохранение генетических ресурсов имеет решающее значение для развития биологического разнообразия. Уровень наследуемости жизнеспособности сосны в очагах корневой губки в ювенильной стадии достаточно высок ($h^2 = 0,74$), что позволяет прогнозировать эффективность селекции сосны на устойчивость к корневой губке в сосновых насаждениях Усманского бора. Корреляционное отношение между уровнями фенотипического разнообразия

Quercus robur и его патогенном *Phellinus robustus* проявляется на уровне 0,82.

Библиографический список

1. Stöcker G. Beiträge zur Strukturanalyse natürlicher und forstlich bestimmter Fichten-Ökosysteme im Nationalpark Hochharz / G. Stöcker, A. Rommerskirchen // Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie. 1/2002. Band 36. 2002. – S. 6-13.
2. Zaspel I. Waldschäden und genetische Strukturen in Beständen einheimischer Eichenarten / I. Zaspel, H. Hertel, T. Stauber // Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie. – 2002. – № 3. – S. 111-115.
3. Flor H.H. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini* / H.H. Flor // Phytopathology. – 1942. – № 32. – P. 653-669.
4. Person C. The gene-for-gene concept / C. Person, D.J. Samborski and R. Rohringer // Nature. – 1962. – № 194. – P. 561-562.



УДК 630* 634.231.232

М.М. Семьшев*,
А.А. Маленко

ОПТИМАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ КОНКУРЕНТНОГО ВЛИЯНИЯ «СОСЕДЕЙ» НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ В ИСКУССТВЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ

Ключевые слова: лесное насаждение, индексы конкуренции, фитомасса дерева, годичный прирост ствола, естественный сосняк, культуры сосны, аллометрические уравнения.

Введение

При исследовании биопродуктивности деревьев в насаждениях большую роль играет учет влияния конкурентных отношений, связанных с характером размещения деревьев на площади. По мнению

* Научный руководитель – проф. В.А. Усольцев.

С.Н. Сеннова [1], 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.

В результате анализа существующих CI нами установлено, что к оптимальным, т.е. дающим наибольшую точность при наименьших затратах, можно отнести восемь индексов [2-9]. Цель нашей работы – выяснить возможности повышения точности оценки продукционных показателей деревьев путем использования индекса конкуренции в качестве предиктора.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в бору Аман-Карагай (Басаманский лесхоз), находящемся на левобережье р. Убаган, в 110 км к юго-востоку от г. Кустанай (Республика Казахстан). Бор площадью 81 тыс. га представляет собой два песчаных, вытянутых в северо-восточном направлении массива.

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 лесоустроительные». 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 1 м, 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 высота и проекции крон в четырех направлениях всех деревьев с помощью рейки с делениями, кратными 10 см.

Таблица 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 ² /га	запас, м ³ /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 нанесли проекции кроны каждого дерева. Полученные 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 – расстояния от модельного (центрального) дерева до конкурентов на различном удалении, площади проекции крон и их взаимного перекрытия и др. Использованы программы Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW. Модельные деревья для определения их фитомассы и годового прироста брали в августе 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 [10].

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, расчетно-графический и расчетно-математический, адаптированный к специфике нашей задачи [11-13].

Результаты и их обсуждение

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.

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:

$$\ln(Y) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln CI, \quad (1)$$

где Y – надземная масса дерева (Pa), кг; годичный прирост площади сечения ствола, средний за последние 5 лет (ZG) мм²;

радиальный прирост ствола (Zr), мм.

Для каждой пробной площади рассчитано по 144 уравнений регрессии (3 зависимых переменных, 8 индексов конкуренции на 6 радиусах влияния), всего 2016, в том числе в культурах – 1440 и в естественных сосняках – 576 уравнений. Составлены таблицы, в которых приведены диапазоны варьирования значений коэффициентов детерминации (R^2) и значимости переменной $\ln CI$ по критерию Стьюдента $t_{факт}$ в уравнениях (1). С целью проверки статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности уравнений (1) проанализирована связь полученных значений R^2 и $t_{факт}$ с величиной радиуса влияния $Rinf$ для совокупности трех наиболее приемлемых индексов конкуренции [6, 8, 9]. Установлено, что по мере удаления от центрального дерева по направлению радиуса влияния величины R^2 и $t_{факт}$ вначале увеличиваются, а достигнув максимального значения, снижаются, т.е. изменяются по колоколообразной кривой. Эта связь описывается параболическими зависимостями:

$$R^2 = a_0 + a_1 Rinf + a_2 (Rinf)^2 + a_3 (Rinf)^3; \quad (2)$$

$$t_{факт} = a_0 + a_1 Rinf + a_2 (Rinf)^2 + a_3 (Rinf)^3. \quad (3)$$

Характеристика уравнений (2) и (3) дана в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика уравнений (2) и (3)

Зависимая переменная	Константы уравнений (2) и (3)				D^*
	a_0	a_1	a_2	a_3	
1	2	3	4	5	6
Культуры					
Уравнение (2) для надземной фитомассы (Pa)					
R^2	0,714	0,240	-0,0632	0,00501	0,225
Уравнение (2) для прироста площади сечения ствола (ZG)					
R^2	0,923	0,0481	-0,0110	0,00073	0,210
Уравнение (2) для радиального прироста ствола (Zr)					
R^2	0,778	0,145	-0,0372	0,00274	0,196
Уравнение (3) для надземной фитомассы (Pa)					
$t_{факт}$	-1,216	1,546	-0,1896	-0,00405	0,410

1	2	3	4	5	6
Уравнение (3) для прироста площади сечения ствола (ZG)					
$t_{\text{факт}}$	0,132	0,336	0,0920	-0,02137	0,302
Уравнение (3) для радиального прироста ствола (Zr)					
$t_{\text{факт}}$	-0,255	0,661	0,0012	-0,01354	0,307
Естественные сосняки					
Уравнение (2) для надземной фитомассы (Pa)					
R^2	0,939	0,0676	-0,0248	0,00207	0,306
Уравнение (2) для прироста площади сечения ствола (ZG)					
R^2	0,608	0,368	-0,110	0,00515	0,316
Уравнение (2) для радиального прироста ствола (Zr)					
R^2	0,763	0,0369	0,0514	-0,0193	0,165
Уравнение (3) для надземной фитомассы (Pa)					
$t_{\text{факт}}$	1,610	1,632	-0,857	0,0934	0,488
Уравнение (3) для прироста площади сечения ствола (ZG)					
$t_{\text{факт}}$	-1,791	7,660	-3,901	0,535	0,337
Уравнение (3) для радиального прироста ствола (Zr)					
$t_{\text{факт}}$	-0,197	3,599	-1,762	0,230	0,208

* D – коэффициент детерминации уравнений (2) и (3), обозначенный таким образом, чтобы отличить его от зависимой переменной R^2 тех же уравнений.

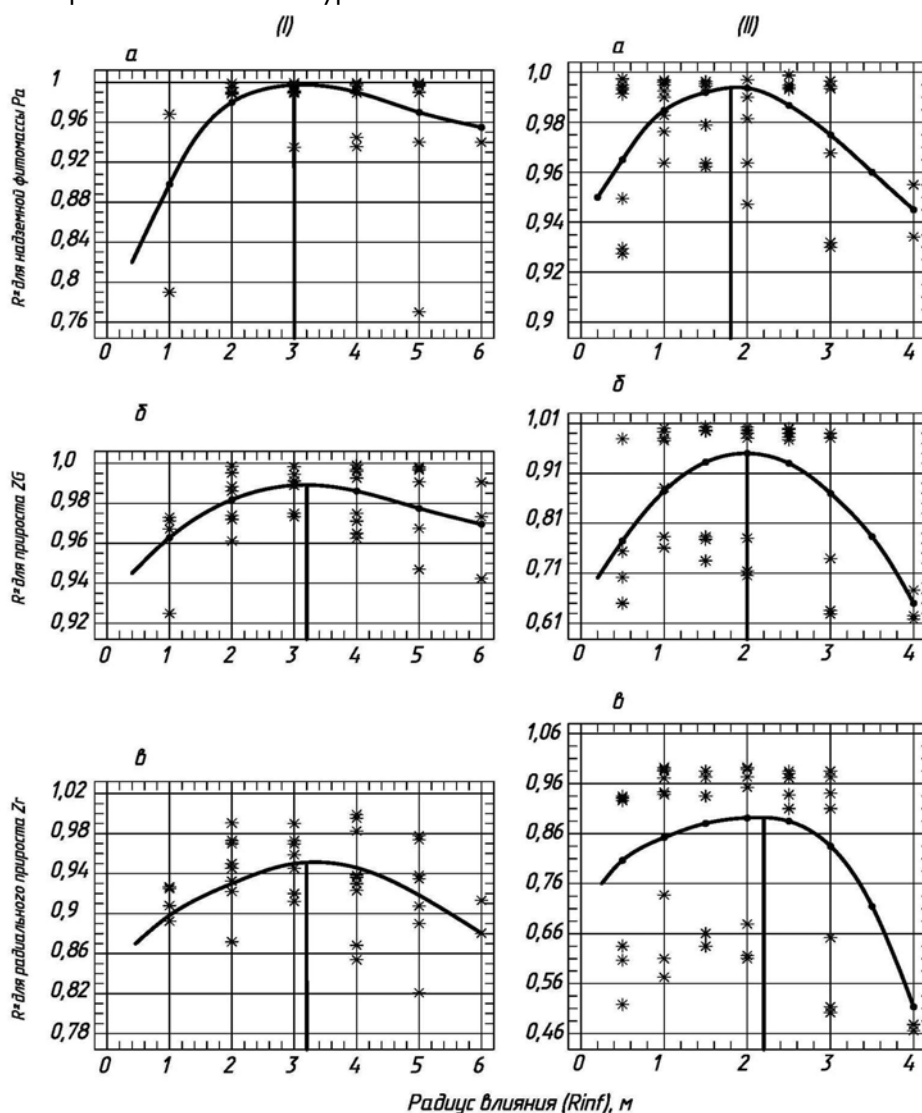


Рис. 1. Зависимость коэффициента детерминации уравнений (1) для надземной фитомассы (а), прироста площади сечения (б) и радиального прироста (в) деревьев от величины радиуса влияния в 20-летних в культурах (I) и естественных сосняках (II)

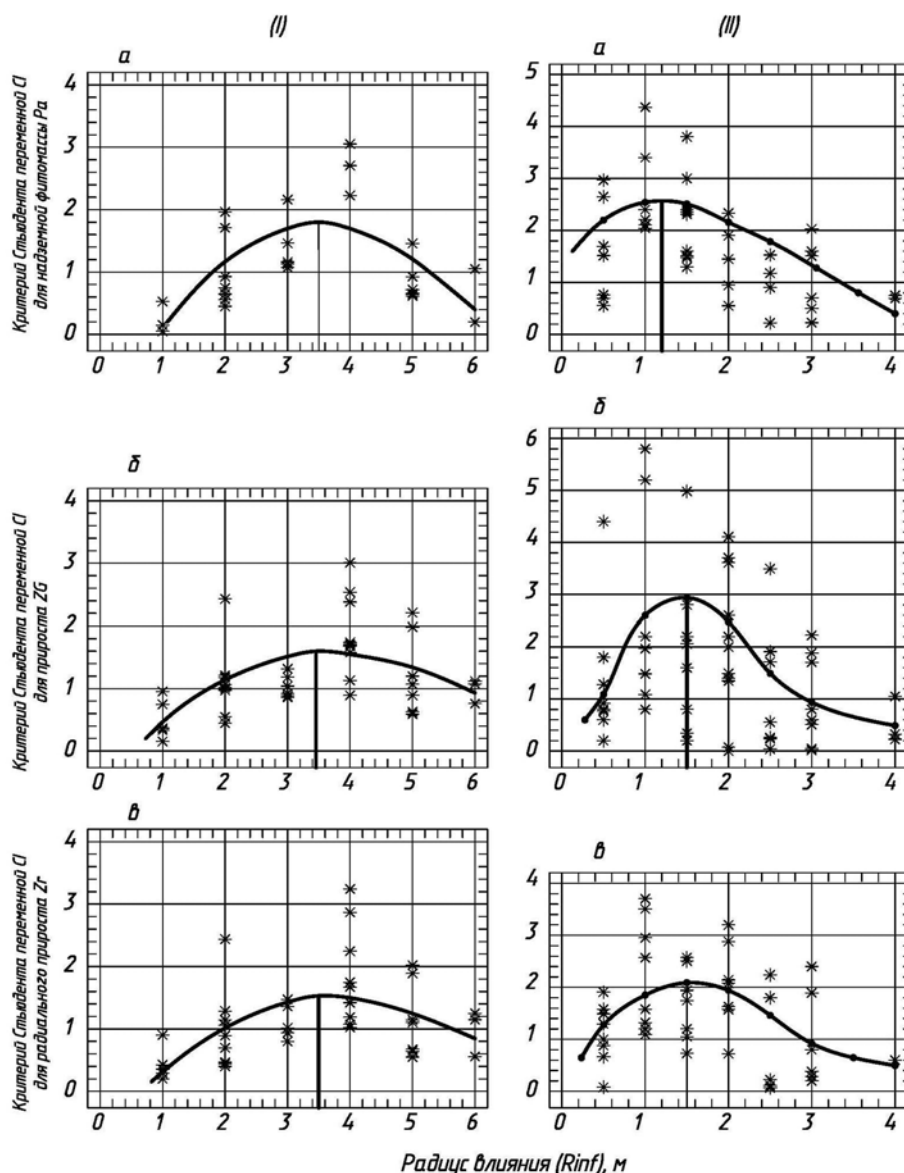


Рис. 2. Зависимость критерия Стьюдента при переменной CI в уравнениях (1) для надземной фитомассы (а), прироста площади сечения (б) и радиального прироста (в) деревьев от величины радиуса влияния в 20-летних в культурах (I) и естественных сосняках (II)

Таким образом, величина оптимального значения радиуса конкурентного влияния на оценку точности каждого из трех исследованных продукционных показателей дерева составляет в естественных сосняках около 2 м и в культурах – около 3 м (рис. 1, 2).

Выводы

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

2. Чтобы 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 как коэффициентом детерминации (R^2), так и уровнем значимости CI по критерию Стьюдента $t_{факт}$, проанализирована связь полученных значений R^2 и $t_{факт}$ с величиной радиуса влияния $Rinf$. Установлено, что при увеличении радиуса влияния R^2 и $t_{факт}$ регрессионных уравнений вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере

дальнейшего удаления от центрального дерева снижается.

4. Оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина 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.

Библиографический список

1. Сеннов С.Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях / С.Н. Сеннов // Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. – СПб., 1993. – Вып. 11. – С. 160-172.

2. Касаткин А.С. Индексы конкуренции в лесных насаждениях / А.С. Касаткин, М.М. Семышев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – Вып. 21. – С. 88-90.

3. Alemdag I.S. Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted white spruce / I.S. Alemdag // Can. For. Serv.; For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-108. – 1978. – 39 p.

4. 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.

5. Braathe P. Height increment of young single trees in relation to height and distance of neighboring trees / P. Braathe // Mitt. Forst. Vers. Anst. – 1980. – Vol. 130. – P. 43-48.

6. 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.

7. Hui G.Y. Das Umgebungsmab als Parameter zur Nachbildung von Bestandstrukturen / G.Y. Hui, M. Albert, Kv. Gadow // Forstw Cbl. – 1998. – Vol. 117. – P. 258-266.

8. 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.

9. 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.

10. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637 с.

11. Плотников В.В. Эволюция структуры растительных сообществ / В.В. Плотников. – М.: Наука, 1979. – 276 с.

12. 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.

13. Donnelly K.P. Simulation to determine the variance and edge-effects of total nearest neighbour distance / K.P. Donnelly // In: Hodder I.R. (Ed.), Simulation Methods in Archaeology. – Cambridge University Press, London, 1978. – P. 91-95.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-07-96010 и 09-05-00508).

