

На правах рукописи



Касаткин Алексей Сергеевич

**Влияние конкурентных отношений на точность оценки
фитомассы и годичного прироста деревьев в сосняках**

Специальности 06.03.02. - Лесоустройство и лесная таксация;
06.03.03. – Лесоведение и лесоводство,
лесные пожары и борьба с ними

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Усольцев Владимир Андреевич.

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Колтунова Александра Ивановна;
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Санникова Нелли Серафимовна.

Ведущая организация – ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет».

Защита состоится 18 декабря 2009 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 36, ауд. 320.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан 13 ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент



А.Г. Магасумова

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Многочисленные исследования в области лесоведения свидетельствуют о большой роли процесса конкуренции за ресурсы среды во взаимоотношениях растений, связанного с характером размещения деревьев на площади. Известно (Сапожников и др., 2005), что даже элементарная хозяйственная единица – таксационный выдел – очень мозаичен и обладает сложной парцеллярной структурой. Все процессы воздействия растений друг на друга необходимо рассматривать в совокупности. Это необходимо для выявления наиболее полного представления о жизни и развитии деревьев в насаждениях с точки зрения фундаментальной науки и практических знаний. В прикладном аспекте учет конкурентных отношений между деревьями необходим для повышения точности оценки их фитомассы и годичного прироста и, следовательно, насаждения в целом.

Исследования автора проводились в 2007-2009 гг. в рамках проектов «Картирование углерододепонирующей емкости лесных экосистем уральского региона», «Разработка системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона» и «Первичная биологическая продуктивность лесных экосистем в градиенте промышленного загрязнения», гранты РФФИ №№ 04-05-96083, 07-07-96010 и 09-05-00508.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – на примере естественных 20-40-летних сосняков исследовать влияние конкурентных отношений на точность регрессионной оценки фитомассы и годичного прироста ствола дерева, установить оптимальный радиус влияния, или расстояние, на котором дерево в наибольшей степени реагирует на «соседей» формированием его фитомассы и годичного прироста ствола, и с учетом него составить таблицы оценки биопродукционных показателей деревьев.

В связи с поставленной целью конкретными задачами исследования были:

- проанализировать известные способы определения типа горизонтального размещения деревьев на площади и установить принадлежность исследуемых сосняков к тому или иному типу;
- проанализировать существующие способы определения индекса конкуренции деревьев в насаждении и отобрать из них индексы, в наибольшей степени соответствующие цели исследования;
- на основе современных компьютерных программ разработать методику оцифровки и обработки закартированных насаждений, а также автоматизированного расчета индексов конкуренции разными способами с учетом распределения деревьев-конкурентов по нескольким концентрическим зонам влияния относительно каждого модельного дерева, у которого

определены фракционная структура фитомассы и годичный прирост ствола;

- с целью установления статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности регрессионных моделей, выражаемой коэффициентом детерминации R^2 , проанализировать связь полученных значений R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} и установить оптимальное значение последнего и возможную связь с типом горизонтальной структуры;

- проанализировать связь полученных значений критерия Стьюдента при независимой переменной, выражаемой индексом конкуренции в регрессионных уравнениях, с величиной радиуса влияния R_{inf} и установить оптимальное значение последнего и возможную связь с типом горизонтальной структуры;

- составить таблицы для оценки надземной фитомассы и годичного прироста ствола с учетом морфологии дерева и оптимального значения индекса конкуренции.

На защиту выносятся следующие положения:

- разработанная классификация типов горизонтального размещения деревьев на площади;

- разработанная классификация индексов конкуренции деревьев;

- методика оцифровки и обработки закартированных насаждений с расчетом индексов конкуренции и радиусов конкурентного влияния на основе современных компьютерных программ (Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW);

- методика установления оптимального радиуса влияния, или расстояния, на котором модельное дерево в наибольшей степени реагирует на конкуренцию со стороны соседних деревьев формированием его фитомассы и годичного прироста ствола;

- таблицы для оценки надземной фитомассы и годичного прироста ствола с учетом морфологии дерева и оптимального значения индекса конкуренции в сосняках.

Научная новизна. Впервые на основе современных компьютерных программ разработана методика оцифровки и обработки закартированных на пробных площадях насаждений с расчетом индексов конкуренции и радиусов конкурентного влияния; на примере естественных сосняков разработана методика расчета и установлена величина оптимального радиуса влияния соседних деревьев на фитомассу и годичный прирост ствола модельного дерева в зависимости от типа горизонтальной структуры древостоя; составлены таблицы для оценки надземной фитомассы и годичного прироста ствола с учетом морфологии дерева и оптимального значения индекса конкуренции в сосняках.

Практическая значимость работы состоит в разработке нормативных материалов, необходимых при оптимизации горизонтальной структу-

ры сосняков с целью повышения их продуктивности, а также полезных при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем и при разработке экологических программ разного уровня. Разработанные нормативы используются Северо-Казахстанским филиалом Казахского государственного института по проектированию лесного хозяйства и Управлением природных ресурсов и регулирования природопользования по Кустанайской области в их практической деятельности (имеются справки о внедрении).

Обоснованность выводов и предложений. Использование обширного экспериментального материала и современных методов статистического анализа, системный подход при содержательном анализе фактических материалов и интерпретации полученных результатов, реализация поставленных задач на уровне многофакторных регрессионных моделей, использование вычислительной техники и современных компьютерных программ определяют обоснованность приведенных в диссертации выводов и предложений.

Личное участие автора. Все виды работ по теме диссертации от сбора экспериментального материала до анализа и обработки полученных результатов осуществлены автором или при его участии.

Апробация работы. Основные результаты исследований изложены на всероссийской научной конференции с международным участием «Новые методы в дендрэкологии», Иркутск, 2007; 4-й всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов УГЛТУ, Екатеринбург, 2008; международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, 2008; 4-м международном интернет-семинаре «Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири», Томск, 2008.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 10 печатных работах, в том числе 3 – в рецензируемых журналах (список ВАК).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 244 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения и 8 приложений. Список использованной литературы включает 330 наименований, в том числе 184 иностранных. Текст иллюстрирован 23 таблицами и 42 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Вопросу взаимоотношений деревьев в насаждении посвящена обширная литература (Сукачев, 1928, 1964; Галл, 1976; Harper, 1977; Tilman, 1988; Кузьмичев и др., 1989; Peterson, Squiers, 1995; Stadt et. al., 2002; D'amato, Puettmann, 2004). Многочисленные исследования свидетельствуют о большой роли процесса конкуренции за ресурсы среды во взаимоотношениях растений и их росте (Морозов, 1910; Эйтинген, 1918; Сукачев, 1941, 1946, 1953, 1959; Мазер, 1964; Харпер, 1964; Bella, 1971; Стирбис,

1976; Макаренко, 1982; Pukkala, 1988, 1989; Миндеева, 1995; Oliver, Larson, 1996; Stadt et al., 2002; D'amato, Puettmann, 2004). Согласно современным представлениям основы конкуренции лежат в совместном использовании деревьями ограниченных пищевых и энергетических ресурсов. Продуктивность лесного растительного сообщества никогда не совпадает с потенциально возможной продуктивностью составляющих его особей, и одним из важнейших факторов ограничения этих возможностей выступает конкуренция (Сукачев, 1964; Кузьмичев и др., 1989; Taylor et al., 1990; Kropff, van Laar, 1993; Aerts, 1999).

По мнению С.Н. Сеннова (1993), из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции легче всего выяснить с использованием индекса конкуренции, поскольку в методическом отношении это довольно просто. Для понимания механизмов конкуренции необходимо знать особенности размещения деревьев на площади, и этой проблеме посвящено множество публикаций (Грейг-Смит, 1967; Ипатов, Тархова, 1975; Смуров, 1975; Галл, 1976; Миркин, Розенберг, 1978; Плотников, 1979; Bouchon, 1979; Выгодская, 1981; Проскураков, 1981; Секретенко, 1984, 2001; Бузыкин, 1985; Бузыкин и др., 1987; Тябера, 1989; Сеннов, 1993).

В частности, для этого применяют мозаику полигонов Вороного-Дирихле (Besag, 1975; Vincent et al., 1976; Green, Sibson, 1978; Галицкий, 1980; Галицкий, Мироненко, 1981) и Штера (Тябера, 1976; Кузьмичев и др., 1989). В.В. Плотниковым (1979) предложен способ оценки и сравнения характера размещения особей на пробных площадях, основанный на статистическом анализе варьирования плотности на учетных площадках. При данном способе предложено учитывать численность особей на плане участка на площадках, перекрывающихся между собой. Тип размещения особей при этом оценивается по характеру распределения частот плотностей. В работах красноярских исследователей (Секретенко, 1984, 2001; Бузыкин, 1985; Гавриков, 1986; Бузыкин и др., 1987) описан способ построения радиальной функции распределения по известным координатам. Получаемая радиальная функция распределения обладает характерными параметрами, имеющими биологический смысл, и помимо типа размещения могут быть определены и эти параметры.

Первые попытки количественного выражения конкуренции сводились в предложению формул с параметром, так или иначе характеризующим степень использования пространства в процессе роста особи (Mitscherlich, 1919; Kira et al., 1953; Кан-Ихи-Сакай, 1964; де Вит, 1964). В последующих исследованиях стала изучаться конкуренция между кронами деревьев, которую рассчитывали через плотность стояния деревьев (Krajicek et al., 1961), предложен метод суммирования углов вместо классической техники оценки полноты древостоя (Spurr, 1962), метод отношения площадей поперечного сечения (Steneker, Jarvis, 1963), модель «зон влияния»

(Aaltonen, 1926; Rogers, 1935; Jackson, Ure, 1964; Newnham, 1966; Opie, 1968; Gerrard, 1969) и ее продвинутый вариант с учетом краевого эффекта (Bella, 1971). Из отечественных работ известны публикации В.В. Плотникова (1979), К.К. Джансеитова с соавторами (1976), А.А. Макаренко (1982) и В.В. Кузьмичева с соавторами (1989).

Для количественного выражения конкурентных отношений обычно используют индексы конкуренции (CI). В.Н. Кудеяров (2007) под моделированием конкуренции понимает использование индексов конкуренции как объясняющих переменных в регрессионных моделях роста индивидуального дерева. Предложено большое число эмпирических индексов конкуренции (Krajicek et al., 1961; Spurr, 1962; Steneker, Jarvis, 1963; Jackson, Ure, 1964; Newnham, 1964; Gerrard, 1969; Arney, 1971; Bella, 1971; Moore et al., 1973; Hegyi, 1974; Daniels, Burkhardt, 1975; Стирбис, 1976; Pielou, 1977; Alemdag, 1978; Glover, Hool, 1979; Wykoff et al., 1982; Lorimer, 1983; Isomäki, Niemistö, 1983; Wu et al., 1985; Daniels et al., 1986; Pukkala, Kolström, 1987; Burkhardt et al., 1987; Pukkala, 1988, 1989; Кузьмичев и др., 1989; Tome, Burkhardt, 1989; Holmes, Reed, 1991; Санникова, 1992; Biging, Dobbertin, 1992; Pretzsch, 1995; Kuuluvainen, Linkosalo, 1998; Hui et al., 1998; Gadow, 1999; Richardson et al., 1999; Санникова, Локосова, 2000; Robinson, Ek, 2000; Stadt et al., 2002; D'amato, Puettmann, 2004; Kint et al., 2004; Graz, 2006, 2007; Gayler et al., 2006; Кудеяров, 2007).

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 (Bella, 1971; Eriksson, 1976; Bucht, 1981; Isomäki, Niemistö, 1983; Pukkala, Kolström, 1987; Pukkala, 1988; Tome, Burkhardt, 1989; Миндеева, 1995; Stadt et al., 2002).

Детальный анализ взаимосвязи радиального прироста сосны и CI (Миндеева, 1995) 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 (Moore et al., 1973) 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 (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 *СИ* 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 (Миндеева, 1995), а в других случаях – с учетом названных характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния (Moore et al., 1973). В нашем исследовании предпринята попытка совместить названные подходы и выявить влияние нескольких *СИ* на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния и зависимости последнего от типа горизонтальной структуры 20-40-летних естественных чистых сосняков.

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ 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 колючей 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 (Грибанов и др., 1970) представляет собой два песчаных, вытянутых в северо-восточном направлении массива, которые располагаются на территории Басаманского и Семиозерного лесхозов Кустанайской области.

Описаны геологическое строение и рельеф территории, даны характеристики ее резко континентального климата и типов почв, из которых преобладают дерново-боровые и темнокаштановые. Те и другие близки по механическим свойствам, валовому составу и содержанию водорастворимых солей, однако по содержанию гумуса, азота и зольных элементов почвы темно-каштановые богаче дерново-боровых. Основной породой является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L), произрастающая в широком диапазоне почвенно-гидрологических условий и представленная преимущественно III классом бонитета. Лесорастительные условия для сосны являются очень жесткими. Небольшое количество выпадающих атмосферных осадков (250-260 мм) в сочетании с высокими температурами воздуха в течение всего вегетационного периода и периодически повторяющимися засухами, обуславливают повышенный расход почвенной влаги на испарение и большую потребность сосны в расходе ее на транспирацию (Грибанов, 1960). Довольно глубокое залегание грунтовых вод и небольшая зона капиллярного поднятия в сочетании с бедностью питательными веществами, малой влагоемкостью, с небольшим диапазоном

активной влаги, создают неблагоприятные условия для произрастания древесной растительности.

Объекты исследований расположены в Басаманском лесхозе Кустанайской области (52°30'с.ш., 63°90'в.д.). Пробные площади заложены в сосняках естественного происхождения в двух контрастных типах лесорастительных условий: влажный бор, I-II классы, и сухой бор, III-V классы бонитета (табл. 1). Семь пробных площадей характеризуются дерново-боровыми почвами с различным уровнем залегания грунтовых вод, а пробная площадь № 7 заложена на темно-каштановых почвах с относительно близким залеганием грунтовых вод – 3,8 м (древостой I класса бонитета).

Таблица 1 - Таксационные показатели сосны естественного происхождения на пробных площадях Аман-Карагайского бора

Таксационные показатели	Номер пробных площадей							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Состав	10С	10С	10С	10С	10С	10С	10С	10С
Возраст, лет	20	20	20	42	42	22	36	39
Класс бонитета	III-VI	III-VI	IV	V-Va	IV	III	I	II
Размер пробной площади, м	7×10	6×7	14×15	5×6	9×9	6×7	24×24	11×12
Число деревьев на пробе, шт.	311	83	259	175	156	237	120	127
Число деревьев на гектаре	44430	19760	12286	56333	19136	48333	2049	9621
Средний диаметр на высоте груди, см	3,04	3,57	3,26	2,5	5,2	3,26	15,2	8,26
Средняя высота, м	4,6	4,3	3,4	4,9	8,8	5,6	14,2	12,8
Средняя площадь сечения, см ²	7,25	10,0	8,37	4,9	21,3	9,66	181,4	53,6
Сумма площадей сечений, м ² /га	32,2	19,8	10,3	27,6	40,7	46,7	37,2	51,5
Площадь роста дерева, м ²	0,225	0,506	0,82	0,177	0,523	0,228	4,88	1,04

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА РАБОТЫ НА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ

Перед полевыми работами на основе маршрутного обследования района исследований и анализа лесоустроительных материалов были подобраны участки насаждений для закладки пробных площадей. Пробные площади закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустроительные». Для закладки пробных площадей подобраны насаждения, однородные по горизонтальной и вертикальной структуре, по таксационным показателям и условиям местопроизрастания.

Каждая пробная площадь закартирована. Принцип картирования показан на рис. 1. На местности после выбора пробной площади и установления ее границ в качестве вспомогательных линий были натянуты шнуры с

севера на юг и с запада на восток с шагом в один метр. Было определен маршрут движения исследователя по намеченным коридорам (на рис. 1 показан прерывистыми жирными стрелками). Во время движения по пробной площади каждое дерево нумеровалось по порядку и с помощью штангенциркуля измерялись диаметры на высоте груди в двух направлениях с точностью до 1 мм, высоты всех деревьев с помощью высотомера или рейки с точностью 10 см, в том числе расстояние от почвы до живой кроны - рейкой с точностью до 10 см. Данные перечета заносились в специальную ведомость.

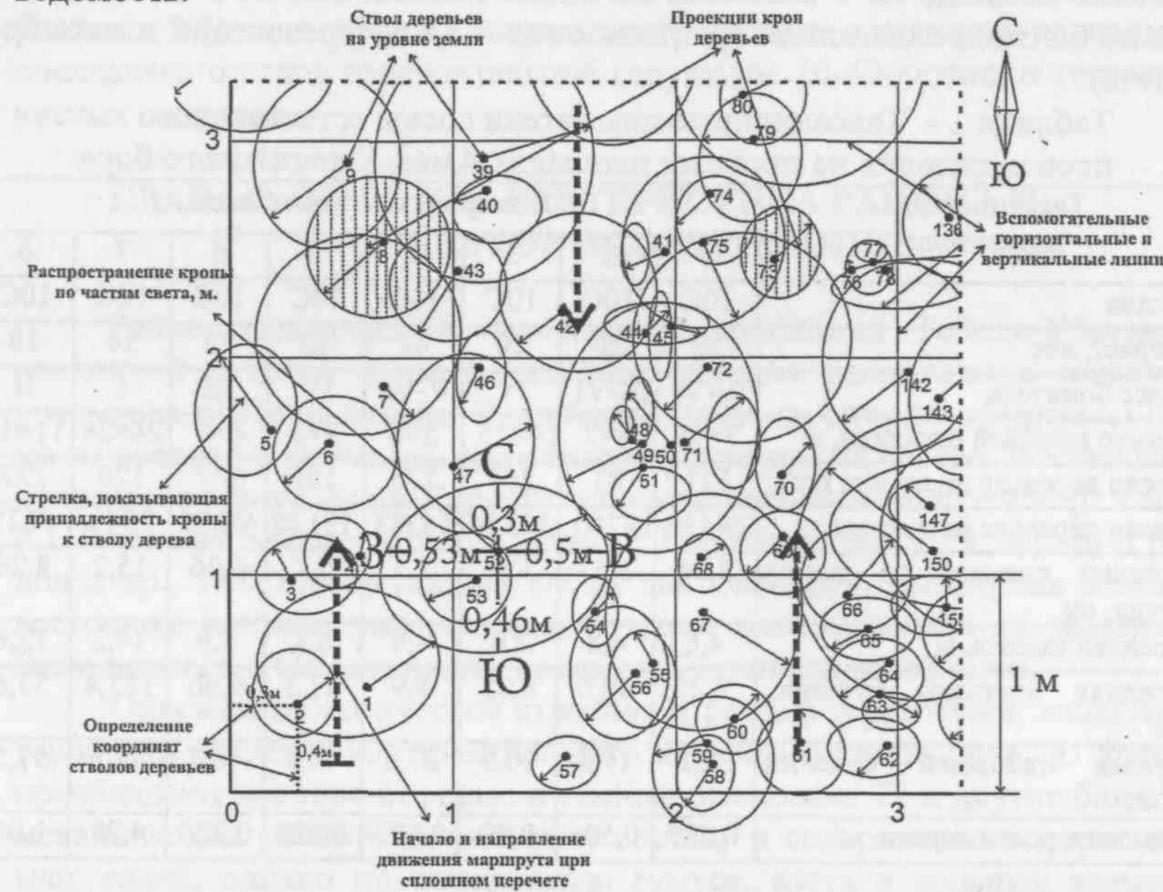


Рис. 1. Фрагмент оцифрованного планшета пробной площади № 1

Одновременно с таксацией на миллиметровку наносилось положение основания ствола (жирные точки на рис. 1) относительно сторон квадрата, образованного шнурами. Процесс определения координат стволов в натуре с помощью измерения двух расстояний от перпендикулярных шнуров показан на примере дерева № 2 (см. рис. 1). От основания ствола замерялись расстояния до периферии кроны по четырем сторонам света (обычно относительно сторон квадрата; показано на рис. 1 на примере дерева № 52). В результате получали четыре замера, характеризующие форму проекции кроны. Используя эти данные (четыре измерения), на планшете рисовали проекции кроны каждого модельного дерева. Принадлежность кроны к тому или иному дереву обозначалась с помощью стрелки, проведенной от

ствола дерева на уровне земли до овальной проекции кроны. Таким образом, натянутые шнуры и соответствующие линии на миллиметровке выполняли роль координатной сетки с шагом в 1 м, на которой определялось местоположение (x, y) деревьев. Результаты картирования (планшеты) оцифрованы и переведены в виртуальный формат (см. рис. 1) с помощью графических компьютерных программ. Сводные данные таксации всех пробных площадей и результаты оцифровки планшетов и выполненных на них измерений с помощью названных программ (расстояния от модельного дерева до конкурентов на различном удалении, площади проекции кроны и их взаимного перекрытия и др.) приведены в специальном приложении.

После завершения перечета деревьев с использованием рядов их распределения по диаметру осуществлялся отбор модельных деревьев для определения их фитомассы и годичного прироста. Их брали в августе месяце после полного формирования хвои (Усольцев, 2007) в количестве от 8 до 10 на каждой пробной площади по ступеням толщины в пределах ее варьирования.

Модельные деревья спиливали на уровне корневой шейки, измеряли общую длину дерева от среза и длину живой кроны. Затем устанавливали возраст дерева по числу годичных колец на пне. Одновременно с этим после обрубки отмерших сучьев крону делили на три равных по длине секции. После обрубки кроны каждую секцию взвешивали с точностью 50 г на электронных весах грузоподъемностью 50 кг. После чего с помощью секаторов у отделенной от ствола кроны производилась обрезка охвоенных побегов (древесная зелень). Затем производилось взвешивание скелетной части кроны по секциям, а по разности общей массы кроны и скелета находили массу охвоенных побегов по секциям. Из обрезанных охвоенных побегов каждой секции отбиралась навеска массой 200-300 г. В условиях стационара с навесок «ощипывалась» вся хвоя, и оставшиеся побеги вновь взвешивались. Из хвои и средних по толщине ветвей брали навески на сушку в объеме почвенного бюкса, взвешивались на весах с точностью до 0,01 г, упаковывали в бюксы известной массы и затем помещали в сушильный шкаф на сушку. После сушки (до постоянной массы) они повторно взвешивались и определялось содержания сухого вещества. По полученным значениям массу листвы и скелета кроны дерева переводили со свежего состояния на абсолютно сухое.

Ствол размечали по относительным длинам – 0; 0,1; 0,2; ... 0,9 H (где H – общая длина дерева) и на высоте груди, и по этим отметкам ствол делили и распиливали на 10 равных частей, и от каждой брали дискообразный выпи. Затем измерялись диаметры стволов в коре и без коры с помощью металлической линейки, в том числе приросты за последние 5 лет с точностью 0,1 мм с помощью измерительного микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях у каждого диска. Диски делили на древесину и кору и взвешивали с точностью до 0,1 г, затем сушили в термо-

статах при температуре 100–105 °С до постоянной массы. По результатам взвешивания древесины и коры дисков до и после сушки определялось содержание абсолютно сухого вещества этих компонентов в сырой навеске и в целом в стволе. По соотношению абсолютно сухой массы и объема образцов древесины и коры стволов рассчитывали их базисную (условную) плотность, умножением показателей которой на объемы древесины и коры соответствующих отрезков ствола получали абсолютно сухую массу древесины и коры ствола всего дерева (Усольцев, 1985, 1988). Результаты определения фитомассы и измерения радиального прироста за 5 лет по всем пробным площадям и модельным деревьям представлены в специальном приложении. Математико-статистическая обработка материалов производилась с помощью программ STATGRAPHICS и Excel для среды MS Windows.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИТОМАССЫ И ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Процесс взаимоотношения деревьев в насаждении, определяемый конкуренцией, тесно связан с характером размещения деревьев на площади. Тип размещения определяется, исходя из вертикальной и горизонтальной структуры насаждения (Плотников, 1979; Kint et al., 2004). На основании анализа способов определения типа горизонтальной структуры (Плотников, 1979; Секретенко, 1984; Сеннов, 1993) нами предложена их классификация (рис. 2). Дана характеристика каждого способа.



Рис. 2. Классификация способов определения типа горизонтального размещения деревьев на площади

Нами выбрано три способа для сравнительного анализа типов горизонтальной структуры древостоев на наших пробных площадях: графиче-

ский (рис. 3), расчетно-графический (рис. 4) и расчетно-математический (Donnelly, 1978; Kint et al., 2004), существенно измененный и адаптированный к специфике нашей задачи и полученных экспериментальных данных.

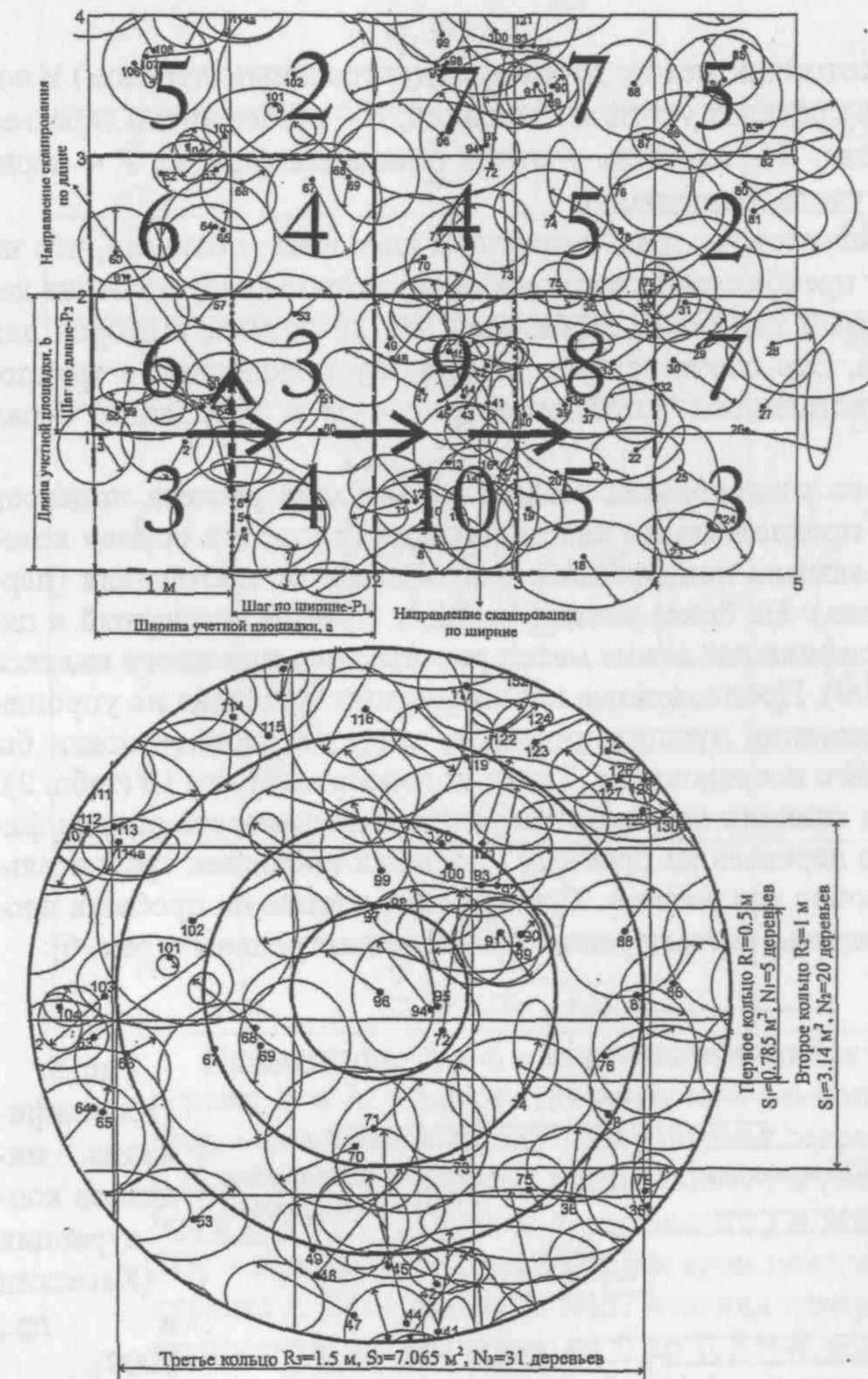


Рис. 3. Принцип сканирования плотности на примере фрагмента пробной площади № 4 при определении типа размещения деревьев графическим способом (Плотников, 1979).

Рис. 4. Принцип получения данных для расчета радиальной функции распределения (Секретенко, 1984; Гавриков, 1986; Бузыкин и др., 1987)

В основу третьего способа положена модель «пространственно образцовой» точки деревьев в пределах древостоя, используемая рядом авторов (Clark, Evans, 1954; Donnelly, 1978; Kint et al., 2004). В качестве учетной площадки принят круг, в центре которого находилось то или иное модельное дерево. Расчет характеристики типа распределения KU выполнен согласно формуле:

$$KU = \frac{1/N \sum_{i=1}^N r_i}{0.00005(A/N)^{1/2} + 0.00000514(P/N) + 0.000004(P/N^{3/2})}, \quad (1)$$

где $\sum r_i$ – сумма расстояний между деревом i (центральным деревом) и соседями деревьями в пределах учетной площадки; N – общее число деревьев на учетной площадке; S – площадь учетной площадки (круга); P – периметр (окружность) учетной площадки.

Результаты расчетов по трем названным способам показали, что на пробных площадях преобладают групповое и случайное распределения деревьев, причем первый тип более характерен для 20-летних, а второй для 40-летних сосняков. Это соответствует известному положению о групповом характере естественного возобновления сосны в островных борах (Усольцев, 1985).

Ввиду большого разнообразия различных методов расчета индексов конкуренции нами предложена их классификация (рис. 5), в основу которой положены механизмы конкуренции и принципы ее протекания (первый и второй уровень). На более низких уровнях (третий, четвертый и пятый) в основе классификации лежит метод расчета того или иного индекса (Касаткин и др., 2009). Предложенная классификация нацелена на упрощение процедуры выявления лучших индексов, которые удовлетворяли бы цели и задачам нашего исследования. Таких индексов выбрано 10 (табл. 2).

Для выявления влияния индекса конкуренции на точность оценки фитомассы и прироста деревьев на пробных площадях выполнен сравнительный анализ 10 способов его расчета. При этом все взятые на пробных площадях модельные деревья рассмотрены в качестве центральных (рис. 6).

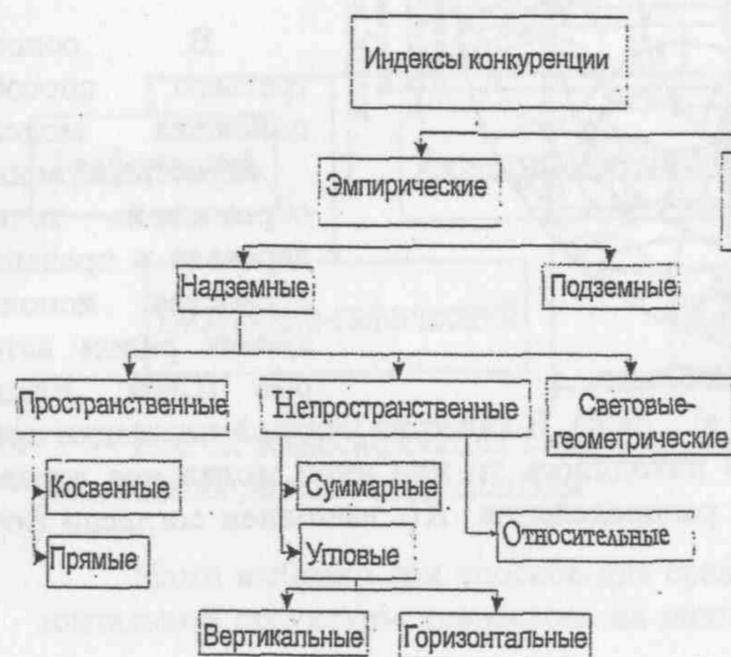


Рис. 5. Классификация индексов конкуренции (Касаткин и др., 2009).

Таблица 2 - Сводка формул для расчета индексов конкуренции

№ п/п	Формула	Обозначение	Авторы
1	$\sum_{i=1}^n \frac{ZO_i}{ZO_j} \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^{EXP}$	B	Bella, 1971
2	$\sum_{i=1}^n Dist_{ij}$	SA	Stadt et al., 2002
3	$\sum_{i=1}^n \frac{1}{Dist_{ij}}$	SB	Stadt et al., 2002
4	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	He	Hegy, 1974
5	$\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	Br	Braathe, 1980
6	$\sum_{i=1}^n \left[\pi \left[\frac{d_j \times Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right]^2 \left[\frac{d_i / Dist_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_i / Dist_{ij}} \right] \right]$	A	Alemdag, 1978
7	$\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_j} \exp \left[\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right] \right), (i \neq j)$	ME	Martin, Ek, 1984
8	$\sum_{i=1}^n \frac{dcr_i}{dcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	BD	Biging, Dobbertin, 1992
9	$U_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ij}$	H	Hui, 1998
10	$\sum_{i=1}^n \frac{lcr_i}{lcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	I	Касаткин, 2008

Примечания: d_j и d_i – диаметр центрального j и конкурирующего i дерева; h_j и h_i – высота центрального j и конкурирующего дерева i ; $Dist_{ij}$ – расстояние между центральным деревом и конкурентом; dcr_j и dcr_i – диаметры кроны центрального j и конкурирующего i дерева; lcr_j и lcr_i – длина кроны центрального j и конкурирующего дерева i ; ZO_{ij} – площадь зоны перекрытия кроны центрального дерева j и конкурента i ; ZA_j – площадь зоны влияния центрального дерева j ; \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 .

Все расчеты индексов конкуренции (см. табл. 2) выполнены при помощи прикладной программы MS Excel. Для облегчения обработки большого массива данных создана специальная матрица. Поскольку крайние радиусы влияния некоторых модельных деревьев на пробных площадях

выходят за их пределы, предусмотрен вариант учета так называемого краевого эффекта путем исключения из дальнейших расчетов радиусов влияния, выходящих за пределы пробной площади.

Площадь зоны перекрытия между радиусом влияния центрального дерева j и конкурентом i (Z_{0ij}).

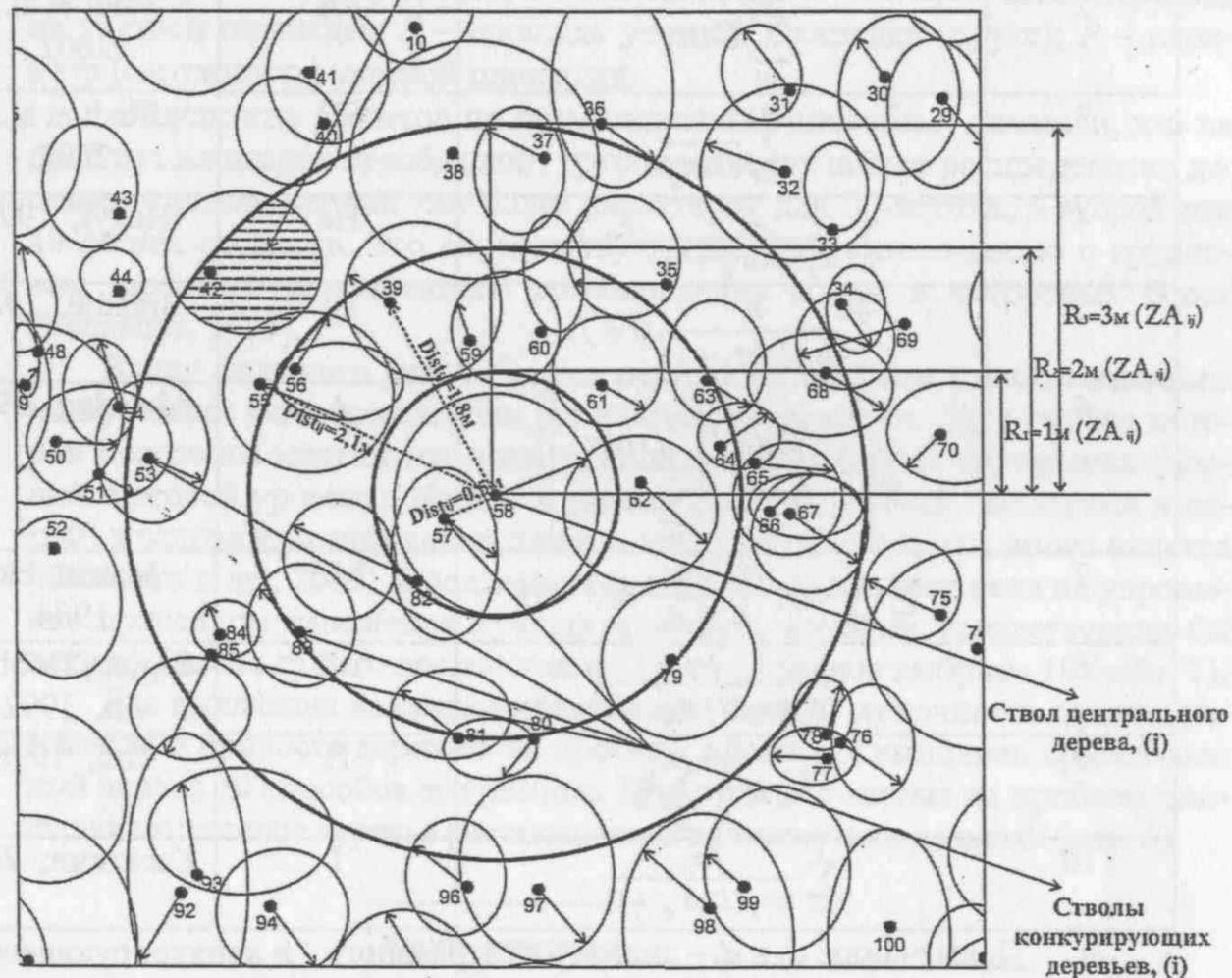


Рис. 6. Фрагмент пробной площади № 8, на котором показан принцип получения исходной информации для расчета индексов конкуренции.

ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНКУРЕНЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ И ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА

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:

$$\ln(Pa, Ps, Pb, Pf, ZG, Zr) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 CI, \quad (2)$$

где Pa, Ps, Pb, Pf – соответственно общая надземная масса дерева, масса ствола, ветвей, хвои в абсолютно сухом состоянии, кг; ZG и Zr – соответственно годовые приросты площади сечения (мм^2) и радиальный (мм), средние за последние 5 лет; CI – обобщенное обозначение всех исследованных в нашей работе индексов конкуренции ($B, SA, SB, He, Br, A, ME, BD, H, I$ (см. табл. 2).

Для каждой пробной площади рассчитано по 360 уравнений регрессии (6 зависимых переменных, 10 индексов конкуренции на 6 радиусах влияния), всего 2880. Составлены таблицы, в которых приведены диапазоны варьирования значений коэффициентов детерминации (R^2) без учета и с учетом краевого эффекта. Диапазоны приняты исходя из максимального и минимального значений R^2 в рамках одной пробной площади и одного биопродукционного показателя. Наибольший процент объясняемой уравнением (2) изменчивости наблюдается по показателю надземной фитомассы, затем в порядке снижения следуют масса ствола, ветвей, хвои и приросты ствола. Значение R^2 практически не зависит от способа, по которому рассчитан индекс конкуренции, и от учета краевого эффекта.

С целью установления статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности уравнений (2) проанализирована связь полученных значений R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} для совокупности трех наиболее приемлемых индексов конкуренции (ME, SA и He). Для анализа взяты результаты расчета уравнений (2) для Pa, ZG и Zr . Для каждого из трех типов горизонтальной структуры древостоев (групповой, смешанный и случайный) зависимость (2) оказалась достоверной (на рис. 7, I показана ситуация лишь при оценке фитомассы). Установлено, что оптимальное значение радиуса влияния существует, его величина зависит от типа горизонтальной структуры древостоя и возрастает при переходе от группового к случайному типу.

Фактическое значение другого статистического показателя – критерия Стьюдента – рассчитано для индекса конкуренции (CI) как одной из независимых переменных в уравнениях (2). Полученные по уравнениям (2) для надземной фитомассы и приростов значения критерия Стьюдента $t_{факт}$ для индекса конкуренции CI проанализированы в связи с величиной R_{inf} и для каждого типа распределения рассчитаны уравнения, выражаемые полиномом 3-го порядка. Очевидно, что оптимальное значение R_{inf} существует и в данном случае, и его величина зависит от типа распределения деревьев на площади. При групповом и случайном распределениях она составляет соответственно при оценке фитомассы примерно 1,2 и 7,0 м (рис. 7, II) и прироста площади сечения и радиального 1,5 и 4,0 м. Влияние типа распределения на массу ветвей и хвои недостоверно.

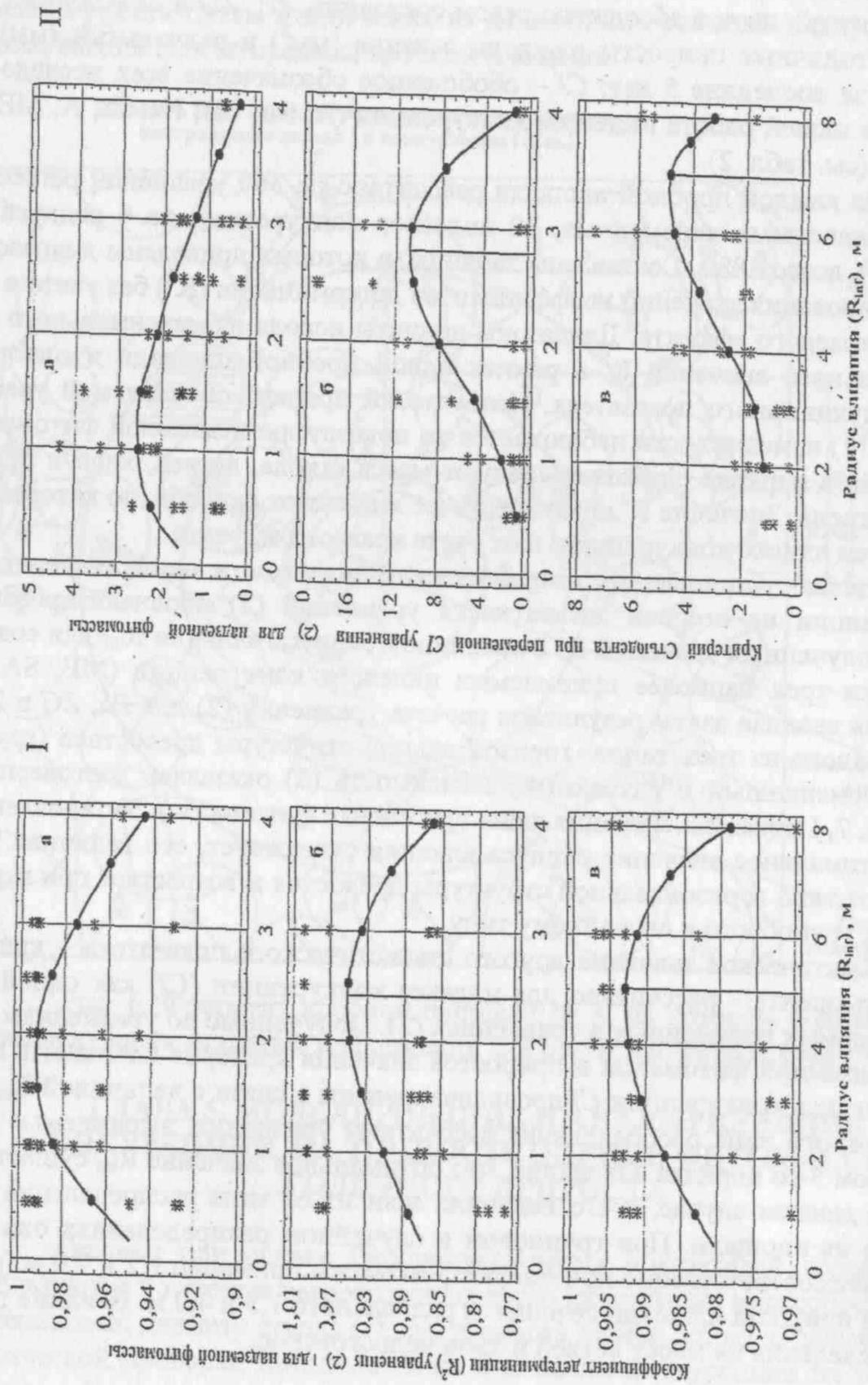


Рис. 7. Зависимость коэффициента детерминации (I) и критерия Стьюдента при переменной CI (II) уравнений (2) для надземной фитомассы от величины радиуса влияния при групповом (а), смешанном (б) и случайном (в) типах горизонтальной структуры сосняков

ГЛАВА 6. СОСТАВЛЕНИЕ ТАБЛИЦ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ И ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ С УЧЕТОМ ИХ МОРФОЛОГИИ И ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ИНДЕКСА 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. Установлено, что объяснительная способность нашей зависимости $Zr \sim CI$ по величине R^2 не уступает подобной зависимости, выведенной Т.Н. Миндеевой (1995) (соответственно $R^2 = 0,588$ и $0,564$). Для сравнения наших результатов с выводами, полученными Дж. Муром с соавторами (Moore et al., 1973), уравнение (2) дополнили введением бинарной переменной X (Дрейпер, Смит, 1973):

$$\ln(Y) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 CI + a_4 X \quad (3)$$

где Y – искомый продукционный показатель: Pa (кг), ZG (mm^2) и Zr (мм); X – бинарная переменная, кодирующая принадлежность деревьев к древостоям той или иной горизонтальной структуры: $X = 0$ для группового и $X = 1$ для случайного распределений. Адекватность уравнений (3) (согласно значениям R^2) для фитомассы ($R^2 = 0,991$) выше, чем для приростов, а для прироста площади сечения ($R^2 = 0,956$) выше, чем для радиального ($R^2 = 0,806$). Вклад бинарной переменной (согласно критерию Стьюдента t_x) в объяснение изменчивости продукционных показателей снижается в той же последовательности: $Pa \rightarrow ZG \rightarrow Zr$ ($4,06 > 2,29 > 1,22$).

Далее рассчитаны уравнения, в которые включены лишь размеры модельного дерева D и H :

$$\ln(Y) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H, \quad (4)$$

и сравнены характеристики уравнений (3) и (4). Установлено, что доля изменчивости продукционных показателей, объясняемых уравнениями (3), существенно выше по сравнению с уравнениями (4): для Pa на 5%, для ZG – на 11% и для Zr – на 36%. При регрессионной оценке ZG в дубовых древостоях (Moore et al., 1973) доля изменчивости, объясненной CI , варьировала в пределах 4-9%, что ниже, нежели в нашем исследовании. Сказанное означает, что использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния и горизонтальной структуры древостоя существенно повышает адекватность регрессионных уравнений продукционных показателей дерева.

Для практического использования уравнений (3) их необходимо представить в виде таблиц. Для этого рассчитано вспомогательное уравнение:

$$\ln(CI) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 X, \quad (5)$$

которое вместе с (3) образует рекурсивную систему (Усольцев, 1998). В уравнении (5) CI – индекс конкуренции для одного из продукционных показателей (Pa , ZG или Zr), рассчитанный по каждому из четырех способов отдельно (ME , He , B , I) при оптимальном значении радиуса влияния, специфичном для каждого продукционного показателя (см. рис. 7, I и II). Расчет показал их уровень детерминации – от 70 до 84%.

Далее путем подстановки в (5) задаваемых значений D , H и X получаем величины CI . Затем путем подстановки в (3) задаваемых значений D , H и X и соответствующих расчетных значений CI получаем искомые таблицы для трех продукционных показателей дерева, подразделенных на две части, соответствующие групповому и случайному типам горизонтальной структуры. Разброс полученных расчетом продукционных показателей невелик, во всяком случае, для фитомассы дерева. Поэтому составлены обобщенные таблицы, включающие в себя среднее значение показателя и его стандартное отклонение (их фрагмент для Pa приведен в табл. 3).

Таблица 3 - Фрагмент таблицы для оценки фитомассы (Pa , кг) по значениям диаметра и высоты дерева согласно уравнениям (5) и (3), полученным при CI , определенном по четырем способам (ME , He , B , I)

Групповое размещение деревьев						
Диаметр D , см	Высота дерева H , м					
	2	4	6	8	10	
2	0,54±0,06	0,66±0,06	0,75±0,03	-	-	
4	2,38±0,15	2,87±0,09	3,22±0,04	3,50±0,04	3,75±0,12	
6	5,70±0,76	6,85±0,59	7,64±0,51	8,27±0,50	8,80±0,57	
8	10,6±2,14	12,7±1,90	14,2±1,78	15,3±1,75	16,3±1,79	
10	-	-	22,9±4,06	24,7±4,01	26,2±4,05	
Случайное распределение деревьев						
Диаметр D , см	Высота дерева H , м					
	2	4	8	12	16	20
Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг						
4	1,93±0,41	2,39±0,43	3,18±0,15	4,35±1,74	-	-
12	20,4±1,60	24,7±2,11	30,1±2,55	34,2±2,09	37,8±1,02	41,3±2,21
20	-	73,5±3,06	88,9±1,89	99,8±2,69	108,8±3,41	116,7±4,53
28	-	-	-	204,0±10,2	221,3±11,6	236,2±14,1

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа многочисленных способов определения индекса конкуренции в насаждениях разработана их многоуровневая классификация и отобрано для последующего анализа 10 способов, наиболее приемлемых по соотношению их информативности и трудоемкости получения и в наибольшей степени соответствующих целям исследования, в том числе один предложен автором.

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. По совокупности 2880 регрессионных уравнений установлено, что в наибольшей степени они объясняют изменчивость надземной фитомассы, затем в порядке снижения следуют масса ствола, ветвей и в наименьшей степени объясняется изменчивость массы хвои. Значения коэффициентов детерминации уравнений не зависят от способа, которым рассчитан индекс конкуренции, и от того, учтен или не учтен краевой эффект.

4. 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. Оптимальный радиус влияния, установленный по величине коэффициента детерминации, зависит от типа распределения деревьев на площади и составляет для группового и случайного распределений при регрессионной оценке надземной фитомассы соответственно 1,8 и 5,0 м, при оценке прироста площади сечения 2,0 и 3,5 м и при оценке радиального прироста 2,2 и 3,5 м.

5. Анализ связи полученных значений критерия Стьюдента при переменной, выражаемой индексом конкуренции в регрессионных уравнениях, с величиной радиуса влияния R_{inf} показал, что при увеличении радиуса влияния величина названного критерия Стьюдента вначале возрастает, а после достижения максимума по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается. Оптимальный радиус влияния, установленный по величине критерия Стьюдента при индексе конкуренции в регрессионных уравнениях, зависит от типа распределения деревьев на площади и составляет для группового и случайного распределений при регрессионной оценке надземной фи-

томассы соответственно 1,2 и 7,0 м, при оценке прироста площади сечения 1,5 и 4,0 м и при оценке радиального прироста 1,5 и 4,0 м.

6. Использование индекса конкуренции с учетом оптимального радиуса влияния и горизонтальной структуры древостоя существенно повышает адекватность регрессионных уравнений, оценивающих продукционные показатели дерева. Наибольшую информативность при регрессионной оценке продукционных показателей дерева с использованием в качестве независимых переменных диаметра, высоты дерева и индекса конкуренции показали (по критерию Стьюдента) из 10 исследованных индексов лишь 4, рассчитанные способами ME, He, B, I (Bella, 1971; Hegyi, 1974; Martin, Ek, 1984; Касаткин, 2008). Поэтому таблицы биопродукционных показателей деревьев сосны составлены с использованием совокупности четырех упомянутых индексов.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Ненашев Н.С., Пальмова Н.В., Балицкий М.И., Касаткин А.С., Лысенко Д.И., Канунникова О.В., Кузьмин Н.И. Биологическая продуктивность лесных культур на бореальном экотоне // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 1. С. 42-54.

2. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Канунникова О.В., Пальмова Н.В., Балицкий М.И., Касаткин А.С., Кузьмин Н.И. Биологическая продуктивность культур ели и сосны в Урало-Тургайском регионе // Лесной вестник. 2007. № 8. С. 75-79.

3. Усольцев В.А., Кузьмин Н.И., Канунникова О.В., Норицина Ю.В., Касаткин А.С., Ненашев Н.С., Терентьев В.В. Запасы углерода в фитомассе насаждений на экотонах Урало-Тургайского региона // Новые методы в дендрозкологии: Матер. всерос. научной конф. с международным участием. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. С. 90-92.

4. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Норицина Ю.В., Кузьмин Н.И., Семьшев М.М., Воронов М.П., Богословская О.А., Сопига В.А., Ненашев Н.С., Терентьев В.В., Касаткин А.С., Ударцева В.В., Бараковских Е.В. Картирование углерододепонирующей емкости лесных экосистем уральского региона. Аннотационный отчет по гранту РФФИ «Урал» № 04-05-96083 // Региональный конкурс РФФИ «Урал», Свердловская область. Аннотационные отчеты. Екатеринбург: Региональный научно-технический центр, 2007. С. 405-409.

5. Терехов Г.Г., Усольцев В.А., Касаткин А.С. Структура фитомассы и конкурентные отношения культур ели и лиственничного молодняка // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 3-4. С. 223-229.

6. Усольцев В.А., Часовских В.П., Воронов М.П., Корец М.А., Черкашин В.П., Кофман Г.Б., Бараковских Е.В., Семьшев М.М., Касаткин А.С.,

Накай Н.В. Оценка углерододепонирующей способности лесов: от пробной площади – к автоматизированной системе пространственного анализа // Лесная таксация и лесоустройство. 2008. № 1(39). С. 183-190.

7. Бараковских Е.В., Касаткин А.С., Семьшев М.М., Накай Н.В., Кузьмин Н.И., Усольцев В.А. Основные этапы в исследованиях структуры фитомассы лесов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. IV всерос. научно-техн. конф. студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. С. 101-102.

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

9. Усольцев В.А., Касаткин А.С., Семьшев М.М. Становление и этапы развития понятия конкуренции в древостоях // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Томск: ТГУ, 2009. С. 240-245.

10. Касаткин А.С., Усольцев В.А., Семьшев М.М. Классификация индексов конкуренции в древостоях // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Томск: ТГУ, 2009. С. 108-113.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета Магасумовой А.Г.
Факс: (343)254-62-25; e-mail: aspir_USFEU@rambler.ru

Подписано в печать 10.11.2009. Объем 1,0 п. л. Заказ № ~~477~~. Тираж 100.
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.
Уральский государственный лесотехнический университет.
Отдел оперативной полиграфии.