

На правах рукописи



Семышев Михаил Маркелович

**Исследование продукционных показателей деревьев
с учетом конкуренции в искусственных сосняках**

06.03.02 -

Лесоведение, лесоводство,
лесоустройство и лесная таксация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург - 2011

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Усольцев Владимир Андреевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, старший научный
сотрудник
Петрова Ирина Владимировна;
кандидат биологических наук
Горячев Владимир Михайлович

Ведущая организация: Оренбургский государственный аграрный университет

Защита состоится 24 февраля 2011 г. в 10.00 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.

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

Автореферат разослан 12 января 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат сельскохозяйственных наук



А.В. Бачурина

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из задач лесоведения состоит в том, чтобы вскрыть и на количественном уровне проанализировать ценотические взаимосвязи структуры и функции в лесных фитоценозах. Процесс конкуренции за ресурсы среды играет существенную роль во взаимоотношениях растений, связанных с характером размещения деревьев на площади.

По мнению С.Н. Сеннова (1993), из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, легче всего учитывать с использованием того или иного индекса конкуренции. В прикладном аспекте учет конкурентных отношений между деревьями необходим для повышения точности оценки их фитомассы и годичного прироста деревьев и насаждений. В теоретическом плане количественное выражение влияния конкуренции на продукционные характеристики деревьев и насаждений дает возможность оптимизировать структуру лесных насаждений на всех этапах жизни древостоя. Несмотря на многочисленные исследования продукционных характеристик деревьев, имеется сравнительно немного работ, в которых эти показатели подвергаются сопряженному экологическому и фитоценологическому анализу (Миндеева, 1995).

Исследования автора проводились в 2006-2009 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 20-летних культур сосны обыкновенной установить 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 продукционных показателей, сопоставить результаты с известными показателями естественных сосняков того же возраста и составить таблицы оценки продукционных показателей деревьев.

В связи с поставленной целью задачами исследования были:

- установить принадлежность исследуемых культур сосны к одному из известных типов горизонтального размещения деревьев на площади;

- выполнить анализ существующих способов определения индекса конкуренции деревьев в насаждении и отобрать из них индексы, в наибольшей степени соответствующие объектам исследования;

- на основе современных компьютерных программ (Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW) оцифровать и обработать планы закартированных на пробных площадях деревьев и выполнить автоматизированный расчет различных индексов конкуренции со стороны «соседей», окружающих модельное дерево, у которого измерены некоторые продукционные показатели;

- проанализировать связь полученных значений коэффициента детерминации R^2 и критерия Стьюдента при независимой переменной, выражаемой индексом конкуренции, в аллометрических моделях продукционных показателей дерева с величиной радиуса влияния R_{inf} и установить оптимальное значение последнего; сопоставить результаты с известными показателями естественных сосняков того же возраста;

- составить таблицы для оценки продукционных показателей деревьев с учетом оптимального значения индекса конкуренции.

На защиту выносятся следующие положения:

- результаты оцифровки и обработки закартированных на пробных площадях насаждений сосны искусственного происхождения с расчетом индексов конкуренции и радиусов конкурентного влияния на основе современных компьютерных программ (Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW);

- результаты установления оптимального расстояния конкурентного влияния «соседей» на продуктивность деревьев в культурах сосны и их сравнения с известными аналогичными показателями естественных сосняков того же возраста;

- таблицы для оценки продукционных показателей с учетом морфологии дерева и оптимального значения индекса конкуренции в сосняках искусственного происхождения.

Научная новизна. Впервые на основе современных компьютерных программ (Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW) выполнена оцифровка закартированных культур сосны на пробных площадях с автоматизированным расчетом индексов конкуренции и радиусов конкурентного влияния; путем сравнительного анализа культур сосны и естественных сосняков установлена величина оптимального радиуса влияния соседних деревьев на фитомассу и годичный прирост ствола модельного дерева в зависимости от происхождения древостоя; впервые составлены таблицы для оценки продукционных показателей деревьев с учетом оптимального значения индекса конкуренции в искусственных 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, использование современной вычислительной техники и адекватных 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 международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, 2007; 4-й всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов Уральского государственного лесотехнического университета, 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; международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и технологии по адаптации», Йошкар-Ола, 2010.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 12 печатных работах, в том числе 2 – в рецензируемых журналах (список ВАК).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 121 странице машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения и 6 приложений. Список использованной литературы включает 160 наименований, в том числе 72 иностранных. Текст иллюстрирован 22 таблицами и 13 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.

Понятие конкурентных взаимоотношений деревьев в насаждении. Конкуренция занимает значительное место в жизни растений, и это является одним из основных положений в экологии растений. Чарльз Дарвин (1859) подчеркивал доминирование конкуренции над другими факто-

рами отбора в процессе эволюции через естественный отбор. В нашей стране продолжателем учения Ч. Дарвина о борьбе за существование как факторе эволюции был В.Н. Сукачев (1941, 1946, 1953).

Под конкуренцией понимается процесс, имеющий место в случаях, когда совокупности растений требуется свет, питательные вещества и вода сверх доступного их количества (Weaver, Clements, 1938; Taylor et al., 1990). Конкурентные отношения в насаждении являются преобладающими по сравнению с другими видами взаимоотношений (Сеннов, 1993; Миндеева, 1995; Stadt et al., 2002). Соотношение световой и корневой конкуренции и влияние на нее различных факторов среды изучалось многими исследователями (Медведев, 1884; Юновидов, 1935; Кузьмичев и др., 1989; Санникова, 1992; Peterson, Squiers, 1995; Casper, Jackson, 1997; Aerts, 1999; Schippers, Kropff, 2001; Rodríguez et al., 2003; Tateno et al., 2004; Gayler et al., 2006; Демаков, 2007). Однако механизмы конкуренции до сих пор полностью не изучены (Gayler et al., 2006).

Горизонтальная структура насаждения и ее влияние на конкурентные отношения. Для понимания и количественного описания механизмов конкуренции необходимо знать особенности горизонтальной структуры древостоя. Обычно выделяют три типа распределения особей в растительном сообществе: случайное (диффузное), групповое (контагиозное) и равномерное (регулярное) (Грейг-Смит, 1967; Плотников, 1979; Секретенко, 1984). В зависимости от типа размещения, конкуренция может протекать менее или более напряженно (Сеннов, 1993).

Групповое распределение растений преобладает над диффузным в большинстве природных сообществ (Грейг-Смит, 1967). Мозаичность пространственной структуры свойственна всем лесным фитоценозам, в том числе культурам с их первоначальным регулярным размещением (Дылис и др., 1964; Смирнов, 1969; Макаренко, 1974; Внучков, 1976; Плотников, 1979; Проскураков, 1983).

Статическая аллометрия и ее применение при оценке фитомассы деревьев. При оценке фитомассы деревьев можно проследить временную закономерность перехода от формы подачи материала в исходном состоянии либо с графическим выравниванием (Данилов, 1953) к выявлению парной связи фитомассы с одним ведущим фактором (Kittredge, 1944) и к объяснению изменчивости показателей фитомассы на основе многофакторного подхода (Горбатенко, 1971). Принцип единственного фактора в парных связях, реализуемый в точных науках или в так называемых «чистых» природных закономерностях, в биологии оказывается менее эффективным (Лиёпа, 1980). Тем не менее, при оценке фитомассы дерева (P) в одновозрастном древостое высокие показатели точности аппроксимирующих уравнений достигаются при использовании лишь одного аргумента - диаметра ствола дерева (D), а связь его с фитомассой описывается алло-

метрической функцией (Huxley, 1932; Gould, 1966; Мина и Клевезаль, 1976; Кофман, 1986):

$$\ln P = \ln a + b \ln D. \quad (1)$$

При выявлении степени пригодности различных выравнивающих функций обычно используют в качестве критериев коэффициент детерминации R^2 , характеризующий степень приближения эмпирической зависимости к функциональной (при которой $R^2 = 1$), и стандартную ошибку уравнения SE .

Применение модели (1) ограничивалось в основном единичным древостоем либо совокупностью древостоев, близких по морфоструктуре. В случаях, когда аллометрическая модель разрабатывается для совокупности древостоев разного возраста и продуктивности, зависимости только от диаметра ствола недостаточно, и в уравнение вводится второй аргумент - высота дерева H :

$$\ln P = \ln a + b \ln D + c \ln H. \quad (2)$$

Индексы конкуренции, методы расчета и их роль при оценке биопродукционных характеристик деревьев. Количественное выражение конкуренции сводилось к 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 том числе с учетом взаимодействия между кронами деревьев (Krajicek et al., 1961). Были предложены метод «суммирования углов затенения» (Sprutt, 1962; Кузьмичев и др., 1979), метод отношения площадей поперечного сечения (Steneker, Jarvis, 1963), модель «зон влияния» (Aaltonen, 1926; Rogers, 1935; Jackson, Ure, 1964; Newnham, 1966; Орие, 1968; Gerrard, 1969) и ее продвинутый вариант с учетом краевого эффекта (Bella, 1971). В качестве индекса конкуренции принимается также отношение среднего за последние 5 лет прирост стволов деревьев к расстоянию от учетной площадки до центрального дерева. Интегральный индекс конкуренции всех деревьев, расположенных на круговой площадке, характеризуется суммой названных отношений (Санникова, 1992; Санникова, Локосова, 2000). В.М. Горячев (1986) предложил метод оценки «экологической плотности» как отношения средней площади проекции кроны дерева к средней площади древостоя, приходящейся на одно дерево.

Известно, что действие конкуренции возрастает по мере сокращения расстояния между растениями (Krajicek et al., 1961; Кан-Ихи-Сакай, 1964). Индексы конкуренции обычно используются как объясняющие (независимые) переменные в аллометрических моделях продукционных характеристик дерева (Сеннов, 1993; Кудеяров, 2007). Т.Н. Миндеевой (1995) зависимость радиального прироста дерева индекса конкуренции в сосняках, выраженная экспоненциальной функцией, характеризовалась коэффициентом детерминации R^2 , равным 0,564 и достигающим максимума при учете

соседей в радиусе 5-6 м, что составляет примерно половину средней высоты деревьев в древостое. Этот вывод практически совпадает с результатом А.С. Касаткина (2009) для естественных 40-летних сосняков Аман-Карагайского бора, характеризующихся случайным типом распределения деревьев, согласно которому оптимальный радиус влияния равен 5 м.

Выполненный анализ методов учета конкурентных отношений посредством различных индексов конкуренции 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 (Eriksson, 1976; Bucht, 1981; Pukkala, Kolström, 1987; Миндеева, 1995), в других случаях – с учетом названных характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния (Moore et al., 1973).

В работе А.С. Касаткина (2009) установлено влияние нескольких индексов конкуренции на фитомассу и прирост ствола дерева как с учетом его таксационных характеристик, так и с выявлением оптимального радиуса влияния в 20-40-летних естественных чистых сосняках. В нашем исследовании предпринята попытка выявить подобные зависимости в 20-летних культурах сосны.

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на территории Тургайского прогиба в равнинной степной зоне Северного Казахстана (Казахстан, 1969), в бору Аман-Карагай, находящемся 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, разобщенных массива, которые располагаются на территории Басаманского и Семиозерного лесхозов Кустанайской области. В диссертации дано описание климата, геологического строения и рельефа территории, преобладающих типов почв, растительного покрова и преобладающих древесных пород.

Объекты исследований расположены в Басаманском лесхозе Кустанайской области (52°30'с.ш., 63°90'в.д.). Заложены 10 пробных площадей в культурах и 4 – в естественных сосняках. Данные по естественным соснякам получены совместно с А.С. Касаткиным (2009). 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).

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 (данные получены совместно с А.С. Касаткиным)							
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

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА РАБОТЫ НА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ

Пробные площади закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». На каждой пробной площади проведен сплошной пересчет деревьев и выполнено их картирование. После отграничения пробной площади в культурах измеряемые расстояния между рядами и между деревьями в ряду наносились непосредственно на миллиметровку, а затем оцифровывались в виде планшетов (рис. 1) и переводились в виртуальный формат (рис. 2) с помощью графических компьютерных программ Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW. На их основе выполнены все измерения, необходимые для расчета индексов конкуренции и радиусов конкурентного влияния.

На рис. 2 дан перечень измерений, выполняемых на пробных площадях при сплошном пересчете деревьев и показан принцип картирования. Процесс определения координат стволов в натуре с помощью измерения двух расстояний от перпендикулярных шнуров показан на примере дерева № 96.

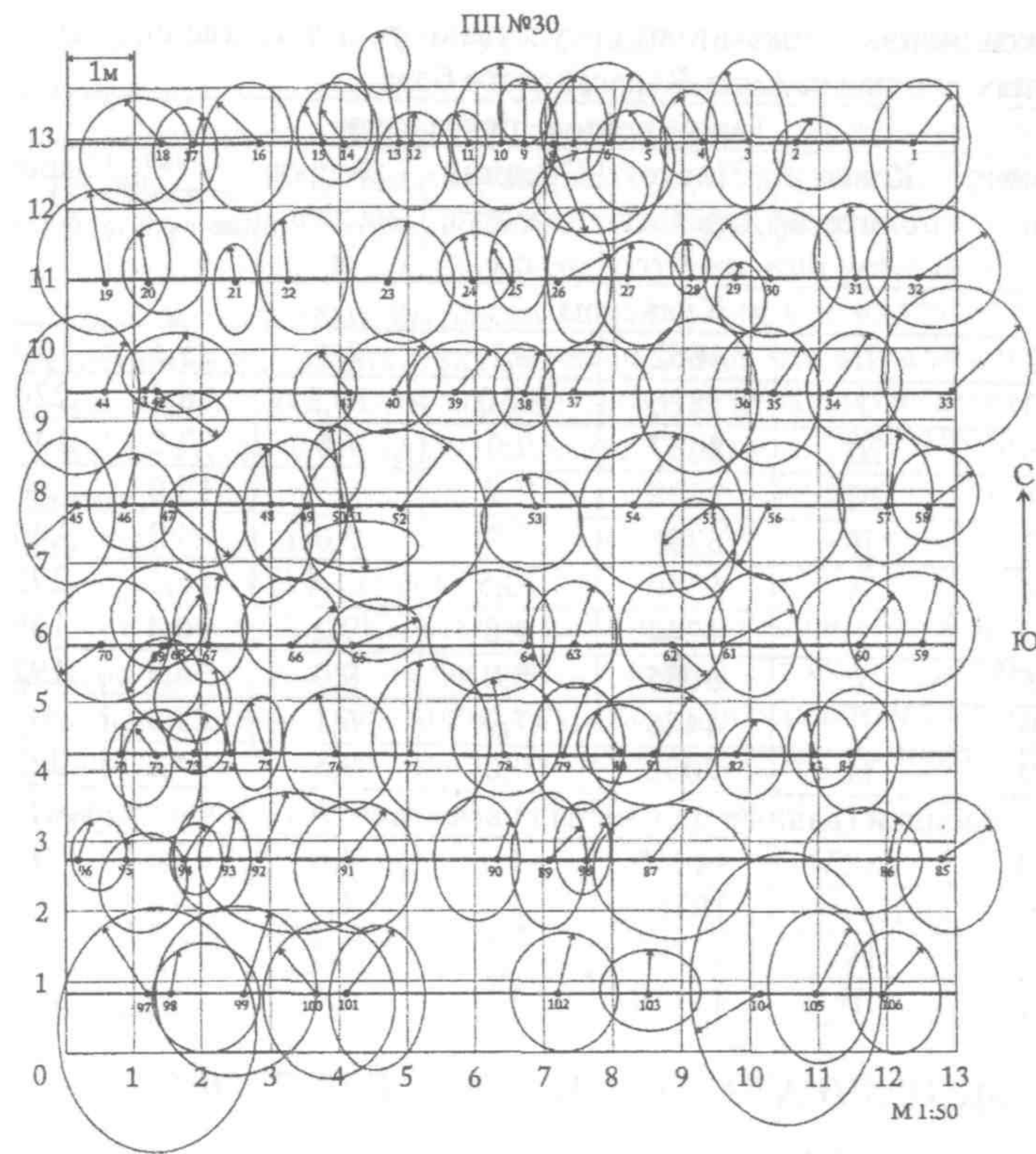


Рис. 1.
Планшет
пробной
площади
№ 30

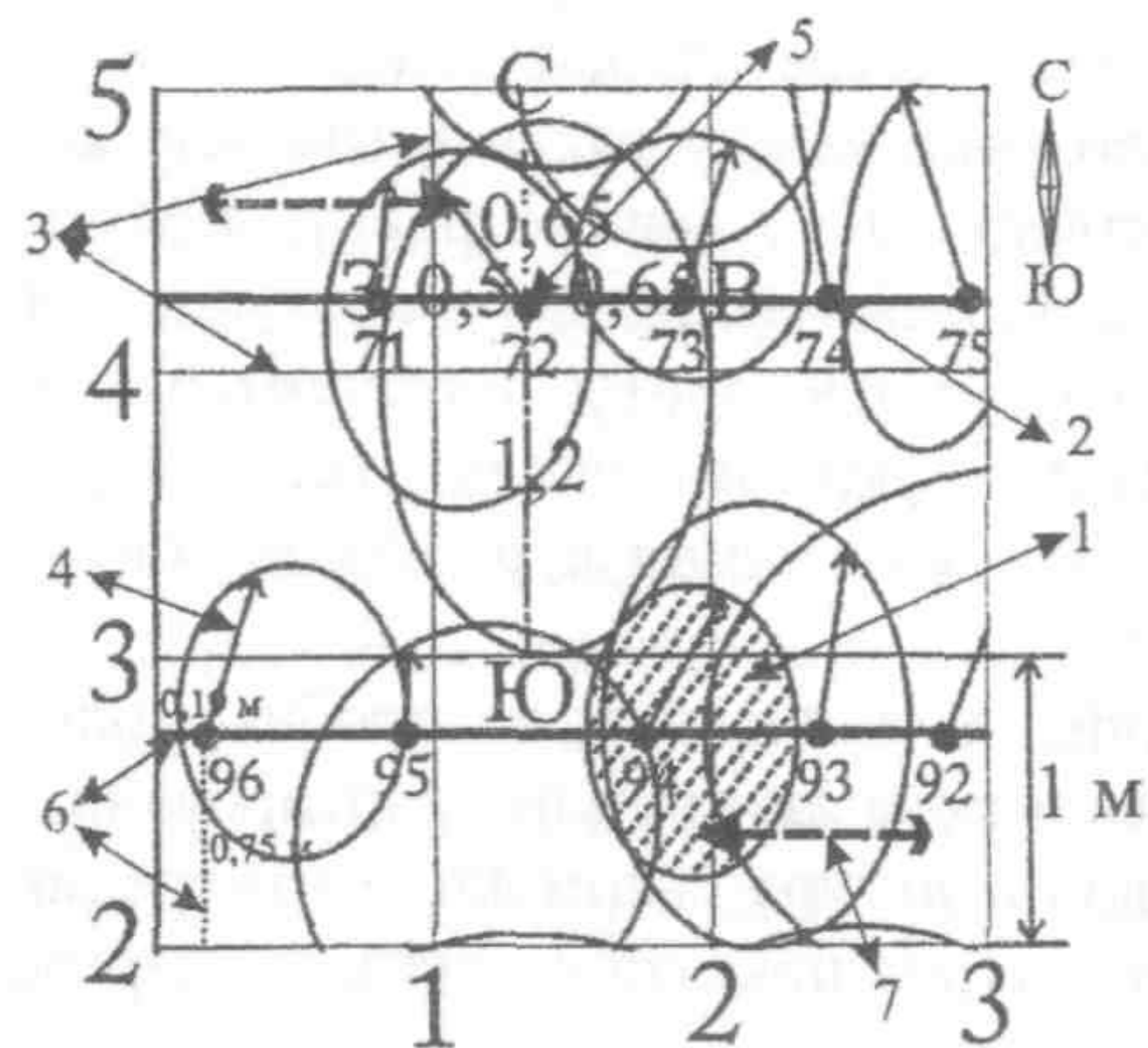


Рис. 2. Фрагмент оцифрованного планшета пробной площади № 30. 1 – проекция кроны дерева; 2 – положение ствола дерева на уровне земли; 3 – вспомогательные горизонтальные и вертикальные линии; 4 – стрелка, показывающая принадлежность кроны к тому или иному дереву; 5 – распространение кроны по частям света,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

После составления ведомости перечета проводился отбор модельных деревьев для определения их годовых приростов и фитомассы. Модельные деревья соответствовали средним условиям роста деревьев (средние по диаметру, высоте и размерам кроны) в пределах каждой ступени толщины. Модельные деревья брали в августе месяце после полного формирования хвои, что обуславливается природными условиями района исследования, в количестве от 8 до 10 шт. на каждой пробе по ступеням толщины в пределах ее варьирования (Усольцев, Залесов, 2005).

Отобранные деревья спиливались на уровне корневой шейки, измерялась общая длина дерева от среза и длина живой кроны. Затем устанавливался возраст дерева по числу годичных колец на пне. Одновременно с этим после обрубки отмерших сучьев живая крона делилась на три равных по длине секции: 1-я секция – верхняя, 2-я – средняя, 3-я – нижняя секция. Обрубка кроны производилась вдоль по стволу, 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 (так называемой «древесной зелени»). 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 и помещалась в пластиковый пакет. В условиях стационара с навесок «ошпыивалась» вся хвоя, и оставшиеся побеги вновь взвешивались. Из хвои и средних по толщине ветвей брали навески на сушку в объеме почвенного бьюкса, взвешивали на весах с точностью до 0,01 г, упаковывали в бьюксы 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 масса листвы и скелета кроны дерева переводится со свежего состояния на абсолютно сухое. Все измерения заносились в специальные формы.

Ствол размечался по относительным длинам – 0; 0,1; 0,2; ... 0,9 H (где H – общая длина дерева), и по этим отметкам ствол делили и распиливали на 10 равных частей. Распил выполнялся также на высоте 1,3 м от основания ствола. Затем измеряли диаметры стволов в коре и без коры с помощью металлической линейки, в том числе приросты за последние 5 лет с точностью 0,1 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях у каждой секции, а также на высоте груди. У секций на относительных высотах 0,2; 0,5 и 0,8 H выпиливали диски, у которых отделяли кору. Диски взвешивали с точностью до 0,1 г, затем в лабораторных условиях сушились в термостатах 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). Математико-статистическая обработка материалов производилась с помощью программ STATGRAPHICS и Excel для среды MS Windows.

ГЛАВА 4. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВЬЕВ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

На 10 пробных площадях 20-летних культур, используя их оцифрованные планшеты (см. рис. 1), определяли тип горизонтальной структуры в соответствии с известной классификацией: случайное, групповое, регулярное, разреженное, а также переходные между ними типы (Плотников, 1979; Секретенко, 1984; Сеннов, 1993; Касаткин, 2009). Мы выбрали три способа определения типа горизонтальной структуры на площадях. Первый способ - графический, предложенный В.В. Плотниковым (1979), второй способ - расчетно-графический (Секретенко, 1984; Бузыкин и др., 1987) и третий - расчетно-математический (Donnelly, 1978; Kint et al., 2004).

В.В. Плотников (1979) предложил учитывать численность особей на плане древесного полога путем последовательного перемещения по перекрывающимся между собой площадкам. Пример сканирования плотности на фрагменте пробной площади № 8 показан на рис. 3.

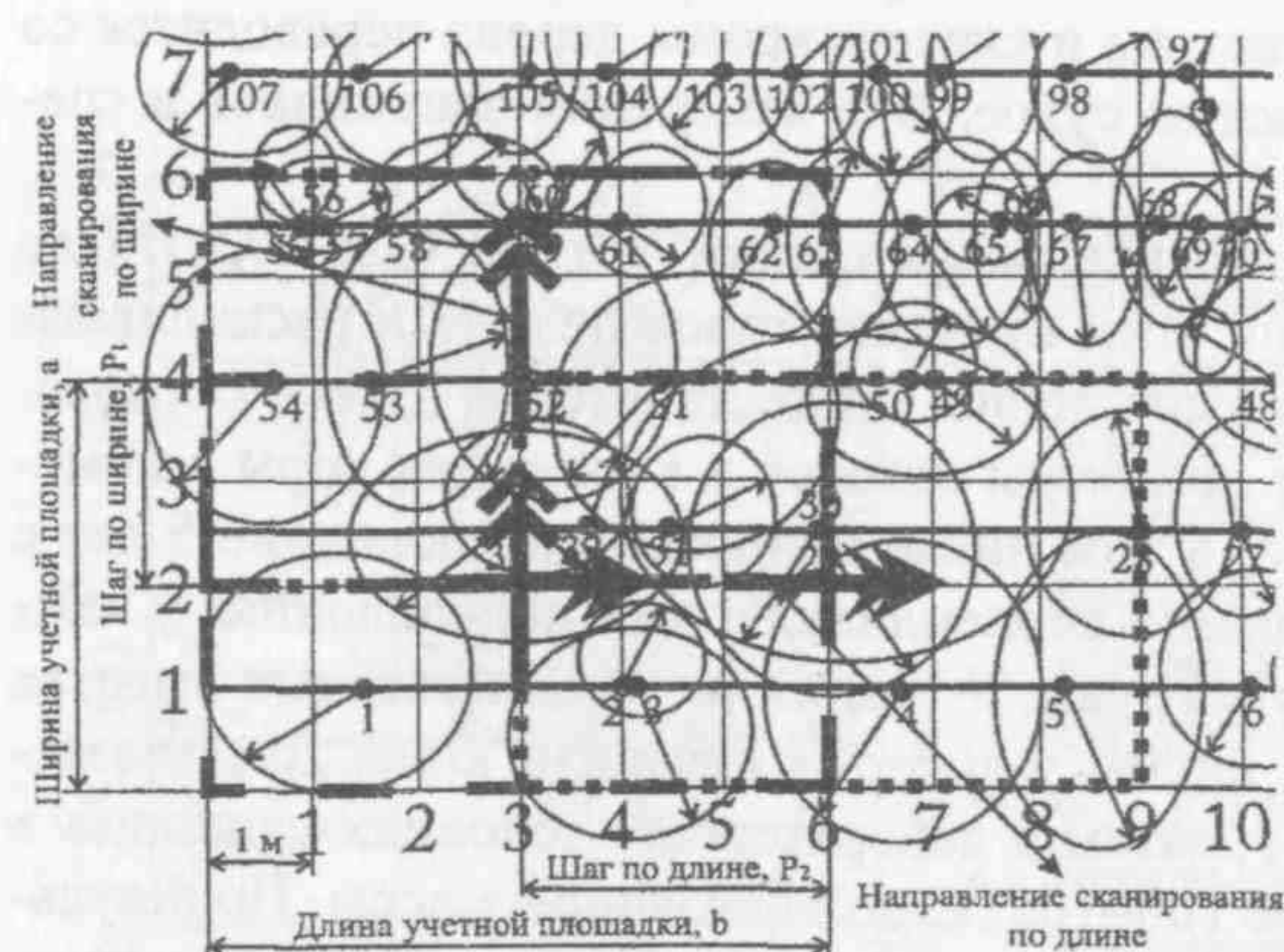


Рис. 3. Принцип сканирования плотности, показанный на фрагменте планшета пробной площади № 8, при определении типа размещения деревьев графическим способом (Плотников, 1979).

Ширина и длина учетной площадки в данном примере равна 6 м, а расстояние (шаг) между центрами смежных учетных площадок при сканировании по длине равно 3 м и при сканировании по ширине - 2 м, и по этим данным определяем чис-

ло наблюдений плотности на учетных площадках. Затем определяется относительная частота наблюдений и численность деревьев на учетной площадке. В заключение строится график распределения частот плотностей, и по характеру кривой делается вывод о типе распределения: если график подчиняется закону нормального распределения, то тип размещения деревьев по площади - случайный; если кривая оказывается несимметричной, пологой и многовершинной, то размещение деревьев групповое; если же кривая распределения подчиняется закону нормального распределения, но при этом имеет несколько вершин, то такое распределение относится к случайно-групповому.

Второй выбранный способ определения типа распределения деревьев на площади основан на построении радиальной функции распределения по известным координатам деревьев (Секретенко, 1984, 2001; Бузыкин, 1985; Бузыкин и др., 1987). Для построения гистограммы радиальной функции распределения определяется относительная плотность деревьев в кольцах постепенно увеличивающегося радиуса вокруг модельного дерева (рис. 4). С использованием полученных данных на каждой пробной площадке определяется радиальная функция распределения для каждого i -го кольца и строится ее график, по форме которого определяется тип распределения деревьев.

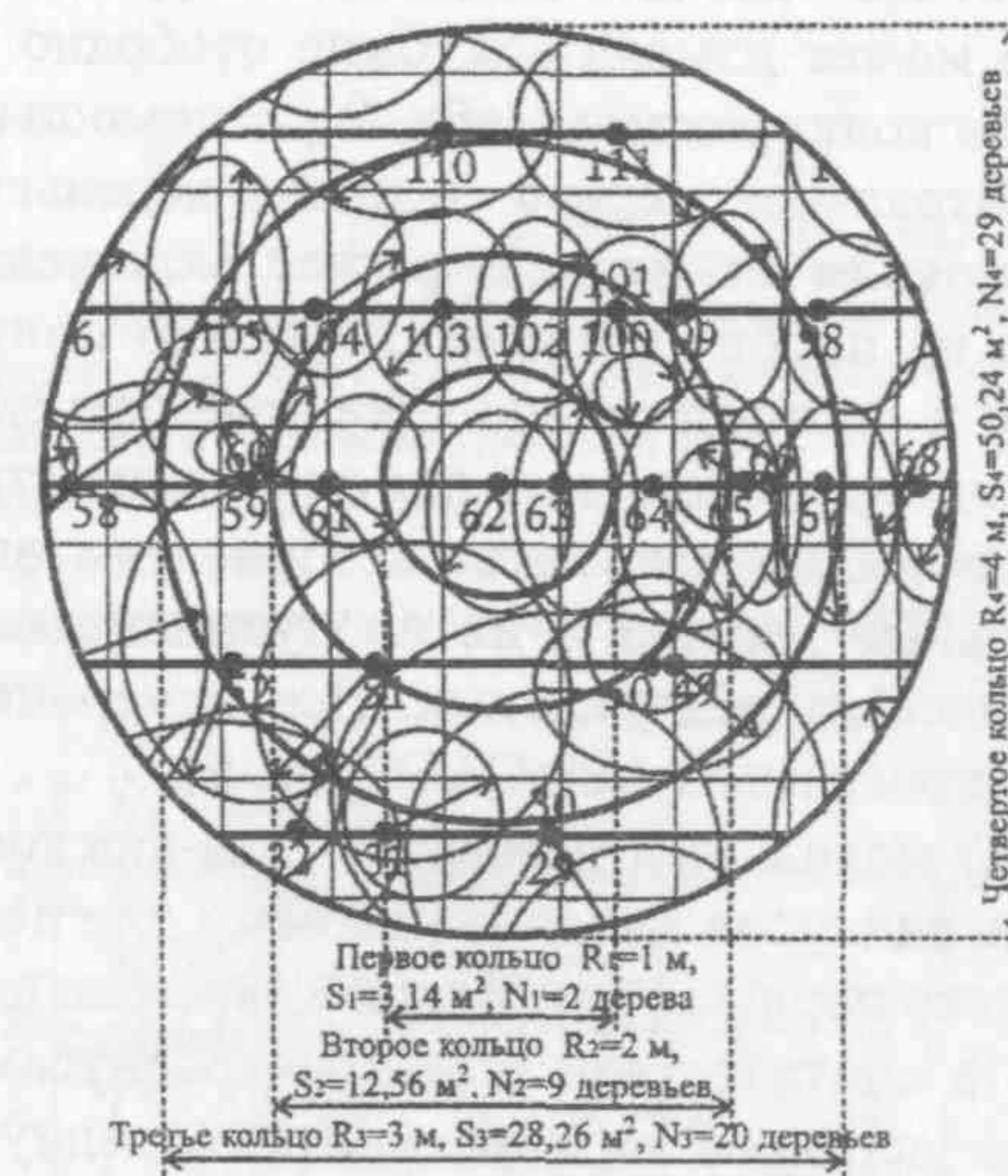


Рис. 4. Принцип получения данных для расчета радиальной функции распределения на примере пробной площади № 8.

В качестве третьего способа, расчетно-математического, выбрана модель «пространственно образцовой точки» деревьев в пределах древостоя (Clark, Evans, 1954; Donnelly, 1978; Kint et al., 2004). В качестве учетной площадки, на которой велся расчет этой модели, выбран круг. На каждой пробной площадке из имеющихся модельных деревьев выбиралось по одному дереву,

расположенному в середине, левой и правой частях пробной площади, что позволило охватить всю пробную площадь. График распределения строился на основании среднего арифметического значения относительной плот-

ности, рассчитанного по итоговым результатам трех модельных (центральных) деревьев. Расчет выполнен по формуле (3):

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

где KU – характеристика типа распределения; $\sum r_i$ – 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.

Итоговый (по трем способам) тип горизонтальной структуры насаждений в культурах сосны принимался на основании как минимум двух совпадений по способам его определения. На 7 пробных площадях установлен групповой характер распределения, на двух - случайно-групповой и на одной (№ 20) - случайный. Таким образом, к 20-летнему возрасту характер распределения деревьев в культурах сосны отклоняется от регулярного и переходит к групповому. Групповое распределение деревьев было установлено А.С. Касаткиным также в 20-летних естественных сосняках.

Поскольку в зависимости от способа расчета индекса конкуренции радиус влияния центрального дерева может изменяться, было отобрано 8 различных способов расчета индексов конкуренции (табл. 2), с помощью которых оценивается влияние на центральное дерево соседних деревьев, находящихся на определенном расстоянии от него. В расчет включены лишь те индексы, значения которых на пробных площадях можно получить с наименьшими трудозатратами и соответственно – на большем эмпирическом материале. Последнее условие необходимо для получения статистически достоверных и воспроизводимых результатов. При этом все взятые на пробных площадях модельные деревья с их продукционными характеристиками рассмотрены в качестве центральных. Все измерения выполнены при помощи инженерной программы AutoCAD (рис. 5).

Выделены радиусы влияния (R) модельных деревьев и для каждого модельного дерева нанесено по шесть радиусов влияния (на рис. 5 для центрального дерева № 40 показаны только первые три). В итоге дано распределение всех деревьев-конкурентов в соответствии с шестью радиусами влияния, а также подсчитано число деревьев в зонах каждого радиуса влияния, каждого модельного (центрального) дерева на каждой пробной площадке.

Таблица 2 - Сводка способов и формул для расчета индексов конкуренции

Порядковый номер	Формула	Обозначение	Авторы
1	$\sum_{i=1}^n Dist_{ij}$	SA	Stadt et al., 2002
2	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{d_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	He	Hegy, 1974
3	$\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h_j (Dist_{ij} + 1)}, (i \neq j)$	Br	Braathe, 1980
4	$\sum_{i=1}^n \left(\pi \left[\frac{d_j \times Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right]^2 \left[\frac{d_i / Dist_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_i / Dist_{ij}} \right] \right)$	A	Alemdag, 1978
5	$\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_j} \exp \left[\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{d_j + d_i} \right] \right), (i \neq j)$	ME	Martin, Ek, 1984
6	$\sum_{i=1}^n \frac{dcr_i}{dcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	BD	Biging, Dobbertin, 1992
7	$U_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ij}$	H	Hui, 1998
8	$\sum_{i=1}^n \frac{lcr_i}{lcr_j (Dist_{ij} + 1)}$	I	Касаткин, 2009

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; d_{kp_j} и d_{kp_i} – диаметры кроны центрального j и конкурирующего i дерева; l_{kp_j} и l_{kp_i} – длина кроны центрального j и конкурирующего дерева i ; \exp – экспонента; k – величина от 0 до 1, $k = 0$, если радиус соседнего дерева i меньше, чем центрального дерева j ; $k = 1$, если радиус соседнего дерева i больше, чем центрального j .

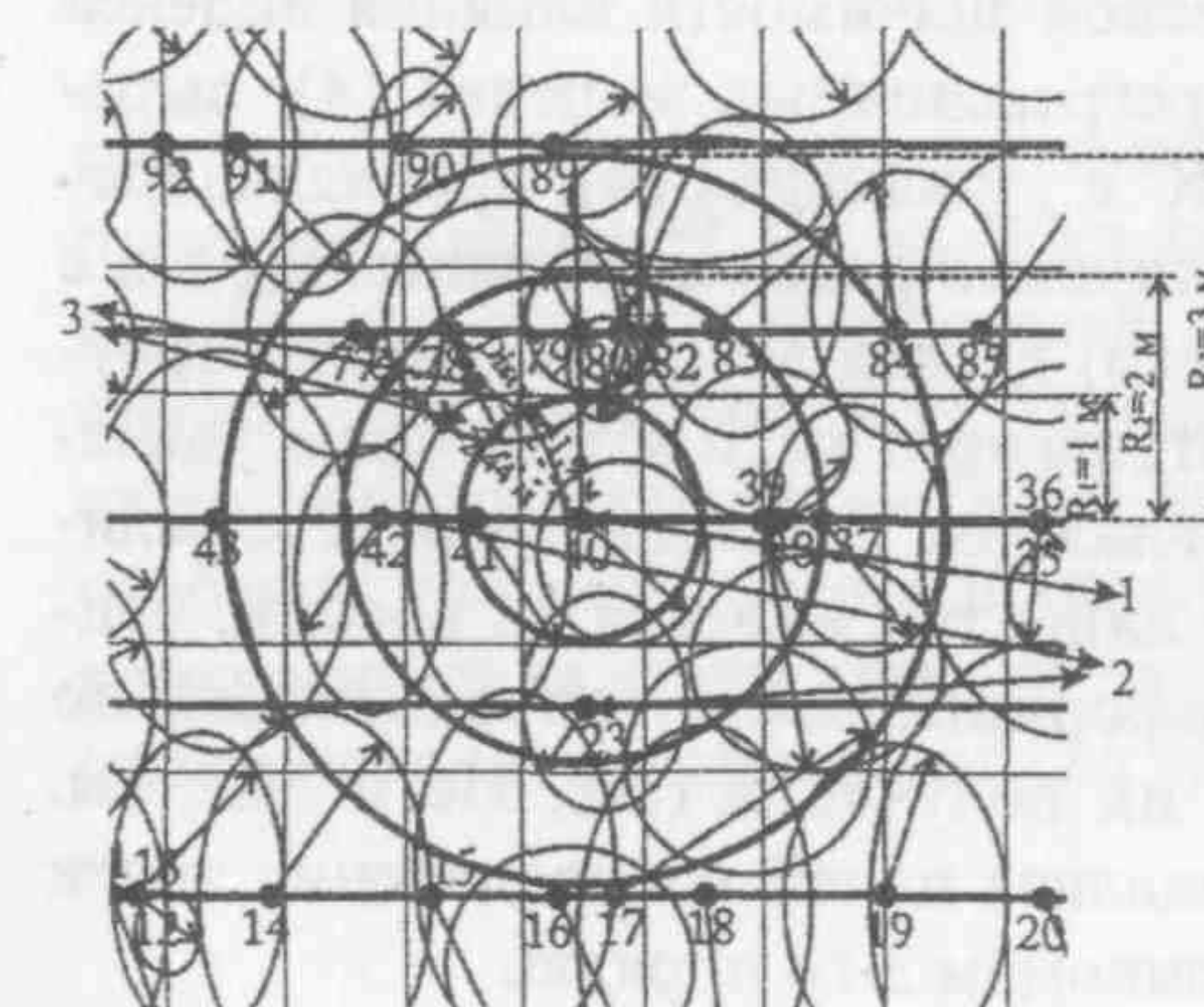


Рис. 5. Фрагмент пробной площадки № 8, показывающий принцип расчета индексов конкуренции. 1 – ствол центрального дерева (j); 2 – стволы конкурирующих деревьев (i); 3 – расстояние от центрального дерева до конкурентов, м.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНДЕКСА КОНКУРЕНЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ БИОПРОДУКЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРЕВА

Для проверки предположения о влиянии конкуренции на точность оценки биопродукционных показателей деревьев мы использовали многофакторные уравнения, которые имеют вид:

$$\ln(Pa, Ps, Pb, Pf, ZG, Zr) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 CI, \quad (4)$$

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 состояния (мм^2) и радиальный (мм), средние за последние 5 лет; CI – обобщенное обозначение всех исследованных в нашей работе индексов конкуренции ($SA, He, Br, A, ME, BD, H, I$; см. табл. 2). Для каждой пробной площади составлено по 288 уравнений регрессии (6 зависимых переменных, 8 индексов конкуренции на 6 радиусах влияния), всего 2880 уравнений.

Для проверки адекватности уравнений регрессии использованы коэффициент детерминации (R^2) и средняя квадратичная ошибка (SE), а для проверки влияния индекса конкуренции на точность оценки фитомассы был использован критерий Стьюдента (t_{CI}). По результатам расчета статистических показателей уравнений (4) составлена таблица, в которой приведены диапазоны варьирования значений коэффициентов детерминации и средней квадратичной ошибки. Судя по коэффициентам детерминации R^2 , изменчивость фитомассы и годовых приростов ZG и Zr объясняется на уровне от 99,9 до 85,5%. Наиболее низкие значения R^2 наблюдаются при оценке фитомассы хвои Pf и ветвей Pb , а наиболее высокие – при оценке массы ствола Ps и надземной Pa . Поэтому в дальнейшем анализе рассматривались уравнения, рассчитанные для надземной фитомассы (Pa , кг) и для среднего за последние 5 лет годового прироста дерева – по площади сечения (ZG , мм^2) и по радиусу ствола (Zr , мм).

С целью установления статистической значимости влияния индекса конкуренции на степень адекватности регрессионных моделей (4), выражаемой коэффициентом детерминации R^2 в уравнениях (4), проанализирована связь полученных значений R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} , т.е. с расстоянием от центрального (модельного) дерева до совокупности окружающих деревьев, находящихся от центрального на том или ином удалении, определяемом величиной радиуса влияния. В анализ связи R^2 с величиной радиуса влияния R_{inf} включены лишь три индекса из восьми, наиболее приемлемые по соотношению информативности (определяемой по критерию Стьюдента) и трудоемкости их получения (SA, He и ME ; см. табл. 2). На основании графического анализа полей распределения точек рассчитаны уравнения, выражаемые полиномом 3-го порядка

$$R^2 = a_0 + a_1 R_{inf} + a_2 (R_{inf})^2 + a_3 (R_{inf})^3. \quad (5)$$

Несмотря на довольно низкие показатели детерминации уравнений (5), полученные зависимости статистически значимы. По аналогии с уравнениями (5) для R^2 проанализированы графики зависимости критерия Стьюдента ($t_{факт}$) индекса конкуренции (CI) при оценке надземной фитомассы, прироста площади сечения ствола дерева и его радиального прироста от величины радиуса влияния (R_{inf}), и по конфигурации полей распределения точек на графиках рассчитаны уравнения, выражаемые полиномом 3-го порядка

$$t_{факт} = a_0 + a_1 R_{inf} + a_2 (R_{inf})^2 + a_3 (R_{inf})^3. \quad (6)$$

Результаты представлены на рис. 6.

Таким образом, оптимальное значение радиуса конкурентного влияния на оценку точности каждого из трех исследованных продукционных показателей дерева существует, его величина составляет в естественных сосняках меньше (около 2 м), чем культурах (около 3 м), что объясняется меньшей плотностью последних. Полученные результаты дают возможность оценки продукционных показателей деревьев в сосновых молодняках с учетом индексов конкуренции.

ГЛАВА 6. СОСТАВЛЕНИЕ ТАБЛИЦ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ И ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ С УЧЕТОМ ИНДЕКСА КОНКУРЕНЦИИ

В предыдущей главе установлено наличие оптимального радиуса влияния, или расстояния пространственных взаимодействий, и соответствующие этим оптимумам значения индекса конкуренции. Путем регрессионного анализа проанализируем влияние последнего на фитомассу и годовичный прирост дерева. На первом этапе установим зависимость продукционных показателей дерева только от индекса конкуренции (на рис. 7 – от индекса ME):

$$\ln(Y) = a_0 + a_1(CI), \quad (7)$$

где Y – один из трех продукционных показателей. Геометрическая интерпретация уравнений (7) на фоне полей распределения фактических значений продукционных показателей деревьев (см. рис. 7) свидетельствует об идентичных с данными Т.Н. Миндеевой (1995) трендах, однако наши зависимости характеризуются более низкими коэффициентами детерминации, особенно для радиального прироста ($0,298 < 0,564$). Тем не менее, индекс конкуренции на статистически достоверном уровне ($t_{CI} = 4,1 \div 6,7 > t_{05} = 2,0$) определяет величину каждого из трех продукционных показателей дерева.

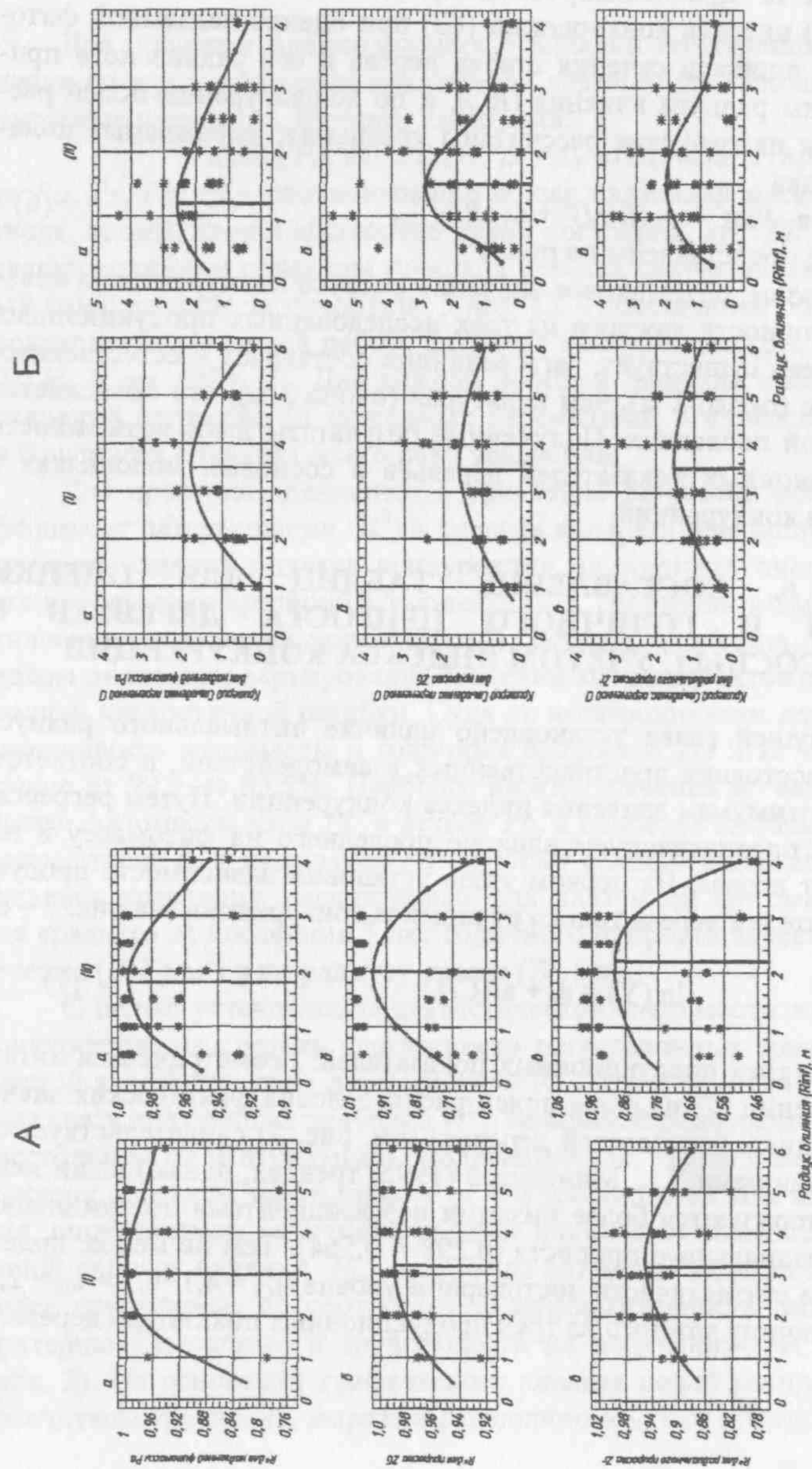


Рис. 6. Зависимость коэффициента детерминации (А) и критерия Стьюдента при переменной *CI* (Б) в уравнениях (4) для надземной фитомассы (а), прироста площади сечения (б) и радиального прироста (в) деревьев от величины радиуса влияния в 20-летних в культурах (I) и естественных сосняках (II)

бильных значениях *D* и *H*) по тем же исходным данным 63 деревьев рассчитаны уравнения, в которые включены лишь размеры модельного дерева *D* и *H*:

$$\ln(Y) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H, \quad (9)$$

Адекватность уравнений (8) и (9) для фитомассы выше, чем для годовичных приростов, а для прироста площади сечения выше, чем для радиального, т.е. снижается в последовательности: $Pa \rightarrow ZG \rightarrow Zr$. Однако наименьший вклад индекс конкуренции вносит в объяснение изменчивости именно надземной фитомассы (0,2%), затем следует прирост площади сечения (3%) и наибольший вклад (11%) индекс конкуренции вносит в объяснение изменчивости радиального прироста. Это объясняется тем, что надземная фитомасса, в которой преобладает масса ствола, формируется в течение всей жизни дерева, и за этот период вследствие естественного изреживания его окружение непрерывно менялось. Таким образом, чем в большей степени продукционный показатель определяется нынешней морфологией дерева (*D* и *H*), тем меньше вклад индекса конкуренции в объяснение его изменчивости. При регрессионной оценке прироста ствола в дубовых древостоях (Moore et al., 1973) доля его изменчивости, объясненной индексом конкуренции, варьировала в пределах 4-9%, т.е. примерно в наших пределах.

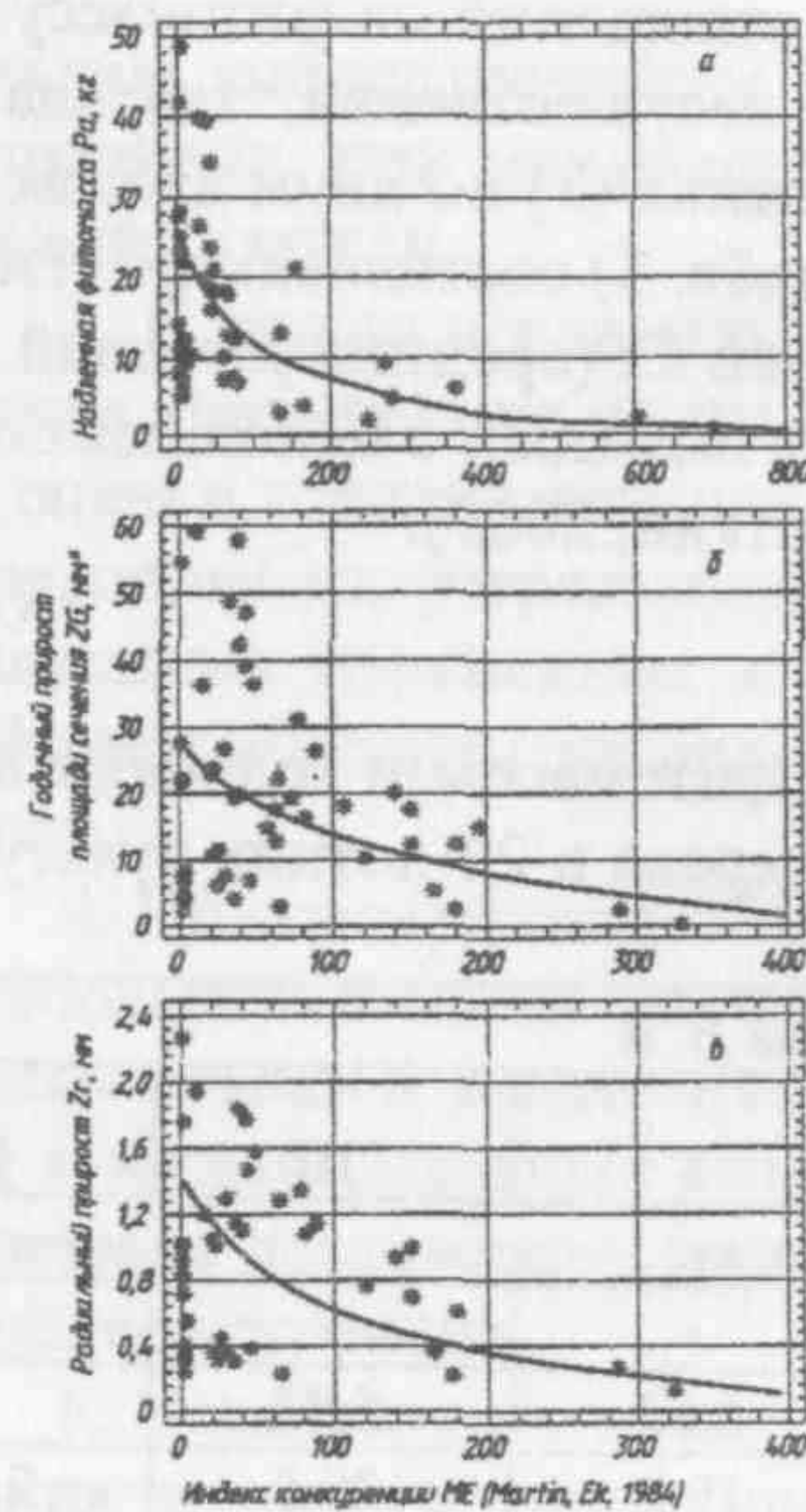


Рис. 7. Зависимость надземной фитомассы дерева (а), годовичного прироста площади сечения (б) и радиального прироста (в) от индекса конкуренции, по Мартину и Эку (Martin, Ek, 1984)

С целью учета ценотического статуса модельного дерева в регрессионную модель (7) кроме переменной *CI* включаем еще две переменные: диаметр ствола *D* и высоту дерева *H*, как основные морфометрические характеристики дерева:

$$\ln(Y) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 CI \quad (8)$$

Для оценки вклада индекса конкуренции в объяснение изменчивости продукционных показателей равновеликих деревьев (т.е. при ста-

Поскольку доля влияния конкурентных отношений на фитомассу дерева в комплексе определяющих факторов незначительна, таблица ее оценки составлена путем табулирования уравнения (8) по двум входам - D и H (табл. 3). Таблицы приростов ствола (см. табл. 3) составлены по тем же двум входам, но с учетом оптимальных значений CI (средних значений для совокупности способов ME, SA, BD, He), рассчитанных с использованием рекурсивного уравнения (Усольцев, 1988; Касаткин, 2009):

$$\ln(CI) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H. \quad (10)$$

Таблица 3 - Фрагмент таблиц надземной фитомассы и годовых приростов в зависимости от диаметра и высоты дерева в 20-летних культурах сосны

Диаметр ствола D , см	Высота дерева H , м					
	2	4	6	8	10	12
Надземная фитомасса, кг						
2	0,488	0,559	0,604	-	-	-
6	5,06	5,79	6,27	6,63	6,92	-
10	-	17,2	18,6	19,7	20,5	21,3
14	-	-	-	40,2	42,0	43,5
18	-	-	-	-	71,6	74,3
Годичный прирост площади сечения ствола, см ²						
2	1,62±0,44	0,51±0,05	-	-	-	-
6	49,4±16,4	13,8±0,50	8,62±0,49	6,40±0,30	-	-
10	-	64,1±1,09	39,7±1,63	29,4±0,91	23,5±0,49	19,7±0,42
14	-	-	108,8±3,57	80,3±2,04	64,1±1,36	53,6±1,56
18	-	-	-	170,3±3,91	135,9±3,24	113,6±3,96
Годичный радиальный прирост ствола, мм						
2	0,36±0,09	0,10±0,01	-	-	-	-
6	4,27±1,59	1,08±0,02	0,62±0,04	0,44±0,03	-	-
10	-	3,23±0,17	1,85±0,05	1,30±0,05	0,99±0,03	0,80±0,03
14	-	-	3,81±0,13	2,66±0,08	2,03±0,06	1,64±0,05
18	-	-	-	4,55±0,20	3,48±0,15	2,80±0,12

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа характера распределения деревьев по площади тремя разными методами установлено, что культуры сосны обыкновенной рядовой посадки в Аман-Карагайском бору Тургайского прогиба к возрасту 20 лет формируют групповой тип горизонтальной структуры.

2. Применение современных компьютерных программ Adobe Photoshop, AutoCAD и CorelDRAW к закартированным 10 пробным площадям позволило в автоматизированном режиме выполнить вычисления индексов конкуренции по 8 способам и распределить деревья-конкуренты по не-

скольким концентрическим зонам влияния относительно каждого из 69 центральных, или модельных деревьев, у которых определены производственные показатели.

3. С целью исключить влияние размера дерева на величину радиуса влияния конкуренции на его фитомассу и годичный прирост применен метод оценки степени влияния конкуренции на производственные показатели посредством их регрессионных моделей, включающих в себя в качестве независимых переменных не только индекс конкуренции, но и основные морфометрические (таксационные) показатели дерева – диаметр ствола и высоту.

4. По совокупности 2880 регрессионных уравнений установлено, что в наибольшей степени они объясняют изменчивость надземной фитомассы и массы ствола и в наименьшей степени объясняется изменчивость массы хвои и ветвей. Значения коэффициентов детерминации уравнений на статистически достоверном уровне не зависят от способа, которым рассчитан индекс конкуренции.

5. Установлено, что при увеличении радиуса влияния R_{inf} или с расстояния от центрального (модельного) дерева до совокупности окружающих деревьев коэффициент детерминации регрессионных уравнений, а также критерия Стьюдента при переменной индекса конкуренции вначале возрастает, а достигнув максимума, по мере дальнейшего удаления от центрального дерева снижается. Величина оптимального значения радиуса конкурентного влияния на оценку точности исследованных производственных показателей дерева составляет в 20-летних культурах сосны 3,0-3,5 м, что значительно превышает аналогичный показатель в естественных сосняках того же возраста - 1,5-2,0 м.

6. Поскольку культуры и естественные сосняки Аман-Карагайского бора в возрасте 20 лет характеризуются одним и тем же – групповым - типом горизонтальной структуры, установленное их различие по величине оптимального радиуса влияния «соседей» на производственные показатели объясняется, по-видимому, меньшей густотой культур (3,2-8,6 тыс. экз/га) по сравнению с естественными сосняками (12,3-44,4 тыс. экз/га).

7. Многофакторные зависимости производственных показателей от диаметра ствола, высоты дерева и оптимального значения индекса конкуренции (в уравнения включены четыре индекса из восьми) по сравнению с аналогичными зависимостями, но без включения индексов конкуренции, показали различную информативность: наименьший вклад индекс конкуренции вносит в объяснение изменчивости надземной фитомассы (0,2%), и различия двух уравнений статистически не достоверны, затем следует прирост площади сечения (3%) и наибольший вклад (11%) индекс конкуренции вносит в объяснение изменчивости радиального прироста. Поэтому

таблицы для оценки фитомассы деревьев в 20-летних культурах сосны составлены по двум входам – высоте и диаметру ствола, а таблицы для годовичных приростов – с использованием оптимального значения индекса конкуренции в качестве третьего регрессора.

8. Доля индекса конкуренции в объяснении изменчивости годовичного прироста ствола в дубовых древостоях, по Дж. Муру с соавторами (Moore et al., 1973), варьировала в пределах 4-9%, что несколько выше полученного нами значения для прироста площади сечения (3%), но ниже, нежели для радиального прироста (11%).

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

По списку ВАК:

1. Усольцев В.А., Семышев М.М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование» (Йошкар-Ола). 2010. № 2. С. 5-13.

2. Семышев М.М., Маленко А.А. Оптимальное расстояние конкурентного влияния «соседей» на продуктивность деревьев в искусственных и естественных сосняках // Вестник Алтайского государственного аграрного университета (Барнаул). 2010. № 10(72). С. 37-42.

Статьи в прочих журналах:

3. Усольцев В.А., Кузьмин Н.И., Канунникова О.В., Ненашев Н.С., Семышев М.М. Урало-Тургайский экотон и биопродуктивность искусственных фитоценозов сосны на нем // Леса России и хозяйство в них. Вып. 1(29). Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. С. 23-45.

4. Усольцев В.А., Часовских В.П., Воронов М.П., Корец М.А., Черкашин В.П., Кофман Г.Б., Бараковских Е.В., Семышев М.М., Касаткин А.С., Накай Н.В. Оценка углероддепонирующей способности лесов: от пробной площади – к автоматизированной системе пространственного анализа // Лесная таксация и лесоустройство. 2008. № 1(39). С. 183-190.

Статьи в тематических сборниках:

5. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Норичина Ю.В., Кузьмин Н.И., Семышев 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 углероддепонирующей 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.

6. Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Канунникова О.В., Семышев М.М., Бараковских Е.В. Фракционное распределение углерода в фитомассе культур на Урале в связи со способами их создания и ухода // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 19. Брянск: БГИТА, 2007. С. 72-75.

7. Касаткин А.С., Семышев М.М. Индексы конкуренции в лесных насаждениях // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 21. Брянск: БГИТА, 2008. С. 88-90.

8. Усольцев В.А., Воронов М.П., Часовских В.П., Накай Н.В., Семышев М.М., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., Борников А.В., Жанабаева А.С. Разработка системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона // Аннотационный отчет по гранту РФФИ «Урал» № 07-07-96010. Региональный конкурс РФФИ «Урал», Свердловская область. Результаты научных работ, полученные за 2007-2009 гг. Екатеринбург: Региональный научно-технический центр, 2010. С. 233-237.

Статьи в материалах конференций:

9. Бараковских Е.В., Касаткин А.С., Семышев 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.

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

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

12. Семышев М.М. Индексы конкуренции и их значение при оценке фитомассы дерева // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии. (Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи) [Электронный ресурс]. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. С. 201-205. – url: <http://csfm.marstu.net/publications.html>.

Подписано в печать 24.12.2010. Объем 1,0 п. л. Заказ № 528. Тираж 100. 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. Уральский государственный лесотехнический университет. Отдел оперативной полиграфии.