М. В. Рогозин

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ: КОНКУРЕНЦИЯ ИЛИ ПАРТНЕРСТВО?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. В. Рогозин

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ: КОНКУРЕНЦИЯ ИЛИ ПАРТНЕРСТВО?

МОНОГРАФИЯ

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
"Perm University Press"

Пермь 2019

УДК 630*17
ББК 43.4
Р598

Рогозин М. В.

Р598 Структура древостоев: конкуренция или партнерство? [Электронный ресурс]: монография / М. В. Рогозин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2019. – 8,43 Мб; 223 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/mono/rogozin-struktura-drevostoev.pdf. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7944-3301-2

Изучались 184-летние насаждения сосны 1 класса бонитета с высокой полнотой на площади 2,16 га. Исследовано взаимное влияние деревьев в зависимости от расстояний между ними, площади их питания и густоты ценозов. Выяснено, что в биогруппах растет 40% особей, и средний диаметр деревьев в биогруппе одинаков со средним диаметром деревьев древостоя. Площадь питания повлияла на диаметры деревьев всего лишь на 7,7%, тогда как густота древостоев в 120 и 170 лет повлияла на размер деревьев в 184 года с силой 43 и 53%.

Обнаружено три новых явления: действие закона «Золотой пропорции» у деревьев-соседей, партнерство между ними и ослабление в 6 раз конкуренции в микроценозах в сравнении с ее действием на уровне насаждения. Выдвинуто два новых закона в развитии древостоев.

Книга предназначена лесоводам, экологам и ботаникам.

Ключевые слова: древостой, структура, площадь питания, конкуренция, партнерство.

УДК 630*17
ББК 43.4

Издается по решению кафедры ботаники и генетики растений Пермского государственного национального исследовательского университета

Рецензенты: лаборатория таксации и лесопользования Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (рецензент ведущий научный сотрудник д.с.-х.н., профессор ***Данилин И. М.***);

главный научный сотрудник Государственного заповедника «Большая Кокшага» д.б.н. ***Демаков Ю. П.***

ISBN 978-5-7944-3301-2

© ПГНИУ, 2019
© Рогозин М. В., 2019

M.V. Rogozin

THE STRUCTURE OF THE FOREST: COMPETITION OR PARTNERSHIP?

Monograph

Ed. by M.V. Rogozin

We studied 184-year-old pine plantations of the first class of bonitet with high fullness on an area of 2.16 hectares. After measuring the circumference of each trunk, the diameter of the tree was calculated with an error of ± 0.1 cm, numbered and applied to the plan with an accuracy of ± 10–35 cm. In biogroups, the distance was determined with an error of ± 3–5 cm. To work the map was digitized in the program ArcGIS. The mutual influence of trees depending on the distance between them, the area of their feeding and the density of cenoses were investigated. It has been found that 40% of individuals grow in biogroups, and the average diameter of the trees in them is the same as the average diameter of the trees of the stand.The feeding area influenced the tree diameters by only 7.7%, while the density of the stands at 120 and 170 years influenced the size of the trees at 184 with a force of 43 and 53%. Three new phenomena were discovered: the operation of the law “Golden Proportions” in neighboring trees, partnership between them and weakening competition in microcenoses by 6 times in comparison with its action at the plantation level. Two new laws in the development of tree stands were put forward. The book is intended foresters, environmentalists and botanists.

Key words: forest stand, structure, feeding area, competition, partnership.

ISBN 978-5-7944-3301-2

© Rogozin M.V., 2019
© Perm State University, 2019

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 6

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 10

1.1. Конкуренция и партнерство между деревьями 11

1.2. Модели структуры 16

1.3. Понятия, термины и методы моделирования средней площади питания 20

1.4. Обсуждение методов определения площади питания 23

1.5. Оптимальное размещение деревьев 30

1.6. Модели и закон развития одноярусных древостоев 34

1.7. Выбор методики изучения и расчета площади питания 36

1.8. Кратко об истории интенсивных рубок ухода 38

1.9. Разрушительность рубок ухода в старых лесах 41

Глава 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ. 46

2.1. Поиски участка для детального картирования деревьев 46

2.2. Нанесение ситуации на абрис и план 53

2.3. Методика измерений диаметра и высоты деревьев 54

2.4. Градуировка взаимодействия между деревьями 56

2.5. Первичный анализ картирования деревьев 58

2.6. Первичный анализ структуры, санитарное состояние 66

Глава 3. МАКРОЦЕНОЗЫ (ДРЕВОСТОИ) 72

3.1. Возраст сосны 72

3.2. Диаметры деревьев 75

3.3. Структура высот на участке «Южный» и «Северный» 76

3.4. Наклон деревьев и горизонтальные проекции крон 79

3.5. Относительная полнота и запасы древесины 81

3.6. Сравнение таксационных показателей 82

3.7. Влияние густоты древостоев на диаметр сосны 84

3.8. Выводы 86

Глава 4. ИЗУЧЕНИЕ ГРУППОВЫХ СТРУКТУР 88

4.1. Расстояние до ближнего соседа 88

4.2. Влияние расстояния до ближнего соседа на диаметр дерева. 91

4.3. Коррелируют ли диаметры деревьев-соседей? 95

4.4. Корреляция диаметров деревьев как свидетельство отношений партнерства . . 99

4.5. Партнерство деревьев в парных биогруппах. 102

4.6. Деревья с «дальними» соседями и плюсовые деревья, или как сосна распорядилась увеличением расстояния до соседей 105

4.7. Влияние конкуренции в биогруппах на размеры деревьев 114

4.8. Экологические ниши для деревьев древостоя 119

4.9. Выводы 124

Глава 5. МИКРО И МАКРОЦЕНОЗЫ 126

5.1. Микроценозы, их густота и отпад деревьев. 126

5.2. Влияние густоты микро, миди- и макроценозов 131

5.3. Обсуждение результатов – наблюдаемых и возможных 135

5.4. Выводы 138

Глава 6. ПЛОЩАДЬ ПИТАНИЯ ДЕРЕВА. 139

6.1. Методика выбора модельных деревьев 139

6.2. Влияние расстояния до соседей на диаметр дерева 143

6.3. Влияние площади питания дерева на диаметр ствола. 147

6.4. Обсуждение результатов и выводы 151

Глава 7. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ОДНОЯРУСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ 159

7.1. Известные законы – естественного изреживания, ранговый закон роста, закон морфогенеза древостоев 159

7.2 Выдвигаемые законы 164

7.2.1. Закон гомеостаза частот правых и левых форм А.М. Голикова 164

7.2.2. Закон неравномерного размещения деревьев 169

7.2.3. Закон партнерства деревьев в микроценозах 174

7.3. Новая парадигма лесоведения и лесоводства 177

7.4. Фантомы теорий рубок ухода и предложения производству. 182

ВЫВОДЫ, НАУЧНАЯ НОВИЗНА, ЗАКЛЮЧЕНИЕ 189

ПОСЛЕСЛОВИЕ. 196

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 200

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Стандартная таблица запасов для равнинных лесов Пермского края (таблица насаждений с полнотой 1.0) 208

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Листы плана с деревьями на площади 2.2 га 209

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Номера и диаметры деревьев сосны 218

ОБ АВТОРЕ 222

ВВЕДЕНИЕ

Мы оставим свой след на земле
В шуме сосен, взметнувшихся в небо…
Валентина Рогозина (Ветошкина)

Взяться за детальный анализ структуры древостоев нас побудила слабая разработанность и, если можно так выразиться, ангажированность вопроса с презумпцией зависимости роста деревьев от конкуренции с соседями.

Концепция В.Н. Сукачева о лесных фитоценозах как сообществах растений, объединенных борьбой за существование, имманентно предполагает, что внутри лесного насаждения конкуренция между индивидами является главным фактором, влияющим на рост каждого из деревьев, слагающих верхний ярус. В свою очередь, он влияет на ярус подроста и подлеска, на напочвенный покров и т. д.

Вместе с тем, приходит понимание и того, что сложность структуры биогеоценозов воспроизвести искусственно в полном объеме практически невозможно. В работе В. Ю. Душкова «Биотехнология, программы ООН и устойчивое развитие» [Душков, 2013] приводится ссылка на монографию «Экологический взрыв и устойчивое развитие» (2000), где ее авторы В. И. Данилов-Данильян и К.С. Лосев пишут о том, что существует «…удивительный факт твердой уверенности лесоводов и специалистов-законодателей в том, что вмешательство человека в естественное развитие лесных экосистем может «улучшить» их экологические свойства… На деле любое вмешательство человека создает возмущение, которое будет погашено экосистемой или – если превышен предел ее возмущения – начинает распространяться. Непонимание этого факта лежит в основе наивно-прагматического подхода к природопользованию, который, к сожалению, доминирует как в зарубежном лесном законодательстве, так и в Лесном кодексе России» [Данилов-Данильян, Лосев, 2000, с. 274 (по Душкову, 2013, с. 31-32)].

Далее В. Ю. Душков обосновывает необходимость формирования нового фундаментального научного направления – *биогеотехнологии*. Ее цель – разработка теории и принципов взаимоотношения человечества с эволюционирующим фитоценотическим покровом Земли. Данный автор работал в зоне полупустыни, т.е. в экстремальных для леса районах, однако критические периоды в развитии лесов имеют место и на севере Европейской части России, где уже наблюдались катастрофические усыхания перестойных

лесов на миллионах гектаров [Чупров, 2008]. Следовательно, нужно понять, что собой представляет структура не только спелых, но и перестойных насаждений.

В моделях структуры важно знать *силу влияния* факторов, привлекаемых для ее конструирования. Абиотические факторы (инсоляция, тепло, увлажнение, почва) являются ресурсами питания. Они одинаковы для древостоя, но различны для деревьев, где способность каждого «захватить» себе большую долю этих ресурсов лишает их равенства. «Захват» регистрируют косвенно – по размерам кроны или диаметру дерева. Такой метод оценки конкурентного давления обычно не вызывает вопросов – дерево крупное, значит, оно пользуется большим объемом ресурсов в ущерб соседям. Если деревья растут густо, то каждому достается меньше ресурсов и требуется деревья разреживать. Это, конечно, упрощенное описание взаимодействия деревьев, но именно оно лежало в основе парадигмы лесоводства практически весь 20 век, в частности, при обосновании технологий рубок ухода за лесом.

Между тем верификация этих рубок показала, что они не повышают продуктивность насаждений, если их начинают на пике прироста [Сеннов,1984], когда древостой уже «сваливается» в регресс [Рогозин, Разин, 2015]. Более того, к началу 21 века проблема оказалась в другом, а именно, в отсутствии попыток объединить множество новых фактов, накопленных в тысячах статей и десятках монографий лесоводами, таксаторами и селекционерами в новую теорию выращивания и ухода за лесом, которая сняла бы противоречия старой парадигмы.

Частично мы попытались это выполнить в учебном пособии «Лесная селекция» [Рогозин, 2018-а], решая две задачи: вначале понять, *как устроен механизм* развития сообщества деревьев, а затем попытаться увеличить его продуктивность методами селекции, воздействуя *на траекторию* его развития. При этом оказалось, что конкурентное прошлое (густота материнского древостоя) решающим образом влияло на «память» потомства о том, в каких испытательных культурах (густых или редких) ему надлежит расти быстрее или медленнее. Этот пласт явлений изучает эпигенетика [Уоддингтон, 1964], и без нее уже невозможно сейчас обойтись при формировании нового лесоводства.

Исследования С. Н. Сеннова [1999], В. Н. Седых [2009], И. В. Шутова с соавторами [2007], А. М. Голикова [2014], Ю. П. Демакова [2018], В. А. Усольцева [2013, 2018], учебные пособия А. С. Тихонова [2011] и А. П. Царева [2013], помогли понять состояние лесных дел и наук в России на рубеже

XXI века. Общее впечатление – каждая лесная наука, отделившись от общего лесоводства, становится самодостаточной, сама себя цитирует, не учитывает *и даже не знает* о достижениях смежных наук.

Поэтому нужен синтез новых знаний. Без знаний о лесе, как целостном явлении, правильно влиять на его части, например, на рост отдельных деревьев, невозможно. Не понимая до конца его механизм, вмешательство человека бывает подобно тому, как ребенок разбирает сложный прибор, а затем пытается его собрать, да еще и улучшить. Древостой осваивает некое жизненное пространство (экологическую нишу). Рано или поздно он занимает ее, достигая предела продуктивности. Казалось бы, мысль о достижении этого предела вполне отвечает законам экологии – закону популяционного максимума Ю. Одума, теории лимитов популяционной численности Андреварты – Бирча и теории биоценотической регуляции численности популяции К. Фридерихса [по Реймерс, 1994, с. 79]. Однако законы эти в моделировании роста древостоев использовали немногие [Разин, 1979; Нагимов, 2002; Рогозин, Разин, 2015].

Разделение лесоводства на ряд наук привело к тому, что лесоводству достались рубки, лесным культурам – выращивание леса, а лесоведение стало изучать леса как часть природы. Появились плантационное, пригородное, «нетрадиционное», и даже «хронолесоводство». Знания накапливались, так сказать, в разных отсеках науки (и цитировались в них же). Между тем задача лесовода – лес выращивать. И здесь продвинулось «плантационное» направление И.В. Шутова [Плантационное …, 2007]. На наш взгляд, цитаты из этой книги и ее идеи нужно использовать буквально во всех учебниках.

Социальные нововведения последних десятилетий в очередной раз отодвинули лесоводство на периферию. Но появилось множество новых терминов. Так, термин «управление лесным хозяйством» заменили на «управление лесами». Он стоит в одном ряду с «управлением природой», «управлением биосферой» и опасен несбыточными иллюзиями. Человек мнит себя «управителем» уже части природы – лесами России, но это лишь потакание его гордыне. В предлагаемой читателю книге новых терминов почти нет. Но выдвигается целый ряд *новых законов*. И они совершенно по-новому расставляют акценты в понимании того, как нам вести лесное хозяйство на принципах *биогеотехнологии*.

Целью исследований была задача выяснить силу влияния площади питания дерева, а также локальной густоты микро-, миди- и макроценоза на

размер деревьев, так как точные их величины неизвестны. Для числовой модели структуры древостоя важна именно *доля влияния* фактора в математическом выражении (в процентах). Поэтому в книге будет много диаграмм. Это будут *экспериментальные,* а также *наблюдаемые факты*. Они обсуждаются, из них формулируются выводы. В нашей работе мы изучали структуру древостоя, так сказать, в глубину. Для этого оказался достаточен всего один массив старого соснового леса на площади 2.2 га в возрасте 184 года, с реконструкцией его развития от 120 лет.

При написании книги мы использовали ряд монографий [Эйтинген, 1934; Хильми, 1957; Дворецкий, 1964; Кузьмичев, 1977, 2013; Сеннов, 1984; Маслаков, 1984; Тараканов и др., 2001; Чернов, 2013; Голиков, 2014; Рогозин, Разин, 2015 Демаков, 2018; Усольцев и др., 2018], диссертации [Исаков, 1999; Нагимов, 2000; Большакова, 2007; Битков, 2009; Вайс, 2014], учебники и учебные пособия [Демаков, 2000; Желдак, Атрохин, 2003; Сеннов, 2005; Фарбер, Соколов, 2005; Верхунов, Черных, 2007; Сретенский, 2007; Калинин, 2011; Мерзленко, Бабич, 2011; Чернов, Соловьев, Нагимов, 2012; Рогозин, 2018], статьи [Ипатов, Тархова, 1975; Кайрюкштис, Юодвалькис, 1976; Разин, 1979; Кофман, Гуревич, 2001; Шутов и др., 2001; Грабарник, 2010; Семечкин, Зиганьшин, 2010; Багинский, 2011; Петренко и др., 2012; Романов, Нуреева, Еремин, 2013; Алексеев, 2014; Колобов, 2014] и справочные материалы [Швиденко и др., 2008].

Работы по сбору материала и написание книги продолжались более двух лет. Неоценимую помощь оказали коллеги по работе Н.В. Жекина, А.В. Жекин Г.Н. Канисев, А. Безгодов, В. В. Нечаев и в особенности к.г-м.н. А.В. Коноплев и к.г-м.н. П.А. Красильников (лаборатория геологического моделирования и прогноза ЕНИ ПГНИУ).

При подготовки рукописи ценные замечания были получены от д.б.н. Ю.П. Демакова, д.б.н. Ю Н. Исакова, д.с.х.н. В. В. Тараканова, к.с.х.н. И. В. Тихоновой, к.б.н. Н.Ф. Овчинниковой.

Всем им – моя искренняя признательность.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Казалось бы, леса России изучены вдоль и поперек. Однако появляются новые методы, и мы узнаем нечто такое, о чем даже не думали. Например, небольшие окна и прогалины. Оказывается, они присутствуют в древостоях с полнотой, близкой к 1.0. Такая полнота подразумевает, что все пространство для деревьев заполнено, и что при составлении стандартных таблиц полноты и запаса таксаторы сталкивались с такими же окнами и прогалинами на пробных площадях и не придавали им особого значения. Между тем о них почему-то принято умалчивать и говорить как о «случайных» явлениях в структуре, и даются рекомендации избегать их при закладке пробных площадей.

Управление лесами и их структурой должно базироваться на знании некоей «общей теории развития леса», и лесоводы периодически возвращаются к идее Г.Ф. Морозова о лесоводственных устоях – о том, что задача лесовода состоит в том, чтобы *законы жизни леса превратить в принципы* хозяйственной деятельности [Морозов, 1949].

В регулировании структуры насаждений давно существуют следующие положения: а) площадь питания дерева должна быть оптимальной; б) деревья следует размещать равномерно. Однако все чаще приходит понимание того, что эти положения не универсальны. В развитии древостоев есть восходящая линия (увеличение прироста) и нисходящий тренд с падением прироста, и они обуславливает два принципа управления древостоями: активный в фазе прогресса и пассивный – в фазе регресса, и постулаты будут справедливы для прогресса и неадекватны для регресса [Рогозин, Разин, 2015]. Поразительно, но некоторые густые в молодости древостои «сваливаются» в регресс уже в 15–20 лет! Поэтому важно сразу определить, в какой фазе развития находится древостой и можно ли ему помочь, или мы уже опоздали.

В настоящее время леса начинают рассматривать все более как экосистемы, где важно сохранить их устойчивость на гораздо более длительное время, чем возраст спелости. В этом случае леса изучают уже как структуры, сохраняющие себя до периода разрушения связей между деревьями. Это происходит при снижении полноты древостоев до некоторого минимума (0.3–0.4), после чего верхний ярус постепенно заменяется новым поколением. Поэтому так важно найти предельно старые леса с высокой полнотой. Особенности их структуры позволят взять ее за образец и далее стремиться к ее повторению в качестве модели, применяя рубки ухода или создавая лесные культуры определенного типа.

На первый взгляд, задачи кажутся простыми – нужно выяснить, как те или иные структуры насаждения (биогруппы, густые микроценозы и куртины, места свободного размещения деревьев) повлияли на их рост и на продуктивность древостоя. Однако для использования в моделях нужно знать *силу их влияния*, выраженную количественно, или более точно, обусловленность изменчивости продукционных показателей фитоценотическими факторами. Как это ни странно, точных сведений об этом в литературе мы нашли крайне мало. Все теоретические положения лесоводства по выращиванию спелого леса были разработаны на «логических» моделях, а также по множеству опытных данных от различных видов рубок разреживания.

1.1. Конкуренция и партнерство между деревьями

О конкуренции деревьев

Исчерпывающий обзор литературы с анализом более 400 работ по этой теме был проведен В. А. Усольцевым [2013]. Поэтому воспользуемся этой монографией и процитируем ее в местах, важных для нашей работы.

Обычно выделяют три типа распределения особей в растительном сообществе: случайное [диффузное], групповое [контагиозное] и равномерное [регулярное]. Со ссылкой на работы С. Н. Сеннова [1993] и Грейг-Смита [1967] В. А. Усольцев отмечает, что групповое размещение отображает повышенную напряженность конкуренции и преобладает над случайным в большинстве природных сообществ. Мозаичность пространственной структуры свойственна всем лесным фитоценозам, в том числе культурам с их первоначальным регулярным размещением. Древостой состоит из биогрупп – территориально сближенных деревьев, где проявляется так называемый «эффект группы» (взаимопомощи, кооперации), который был сформулирован как принцип агрегации особей Олли [Alle, 1931, Одум, 1975]. Согласно этому принципу у особей, объединенных в группу, по сравнению с одиночными повышается устойчивость к неблагоприятным факторам, поскольку в группе поверхность их соприкосновения со средой меньше и группа способна изменять микросреду в благоприятном для себя направлении [Усольцев, 2013, с. 19].

Рассматривая определение эмпирических индексов конкуренции, автор [Усольцев, 2013, с. 55-56] отмечает, что исследователи делят их на надземные и подземные и существует два подхода к моделированию этих процессов. Один из них основан на вычислении меры влияния соседних деревьев, и этот подход удобен при описании ослабления роста дерева из-за затенения этого дерева

соседями. Второй подход основан на подсчете части общего ресурса, который может быть доступен дереву и он удобен для описания потребления растением питательных веществ из почвы. По существу, первый подход оценивает световую конкуренцию, а второй – корневую.

Рассматривая данные по корневой конкуренции далее, автор [Усольцев, 2013, с. 56] ссылается на работу С.Н. Санникова с соавторами [2012], которые полагают, что все морфодендрометрические индексы конкуренции «…представляют не сам фактор биологической конкуренции … а лишь его некое косвенное факториально неопределенное следствие». Вводом в научный обиход «экофизиологически обоснованного индекса корневой конкуренции отдельного дерева и древостоя» они количественно оценивают относительную роль факторов конкуренции древостоя в подземной и надземной сфере и показывают, что корневая конкуренция приоритетна в формировании компонентов леса. Интегральный индекс они определили как произведение корневого и светового индексов, отмечая при этом, что их совместная количественная оценка остается «экологически сложной проблемой» [Санников и др., 2012, с. 106–107]. В результате корреляционного анализа ими установлено, что вклад корневой конкуренции в объяснение изменчивости роста подроста на 16–53% выше вклада световой конкуренции, а вклад интегрального индекса на 13–38% превышает вклады корневого и светового в отдельности, детерминируя 53–74% общей изменчивости роста подроста [Санников и др., 2012, по Усольцеву, 2013] и на всех этапах возрастной динамики формирования модальных древостоев степень сомкнутости и проективного перекрытия (конкурентных контактов) корневых систем на порядки выше сомкнутости крон деревьев [Санников, Санникова, 2014]. Работ по корневой конкуренции деревьев крайне мало из-за высокой трудоемкости и часто в них рассматривают множество других специальных вопросов [Майоров, 2005; Терехов и др., 2014].

Если эмпирические надземные индексы конкуренции «взвешены» через расстояния между деревьями, то такие индексы принято называть пространственными. Попытки улучшить предсказательную способность модели роста деревьев за счет индексов конкуренции с помощью введения в них новых переменных, в том числе расстояния, принимались с середины XX века. Если при расчете индексов расстояние между деревьями не учитывается, то их называют непространственными. К таким индексам, например, относится сумма диаметров конкурирующих деревьев, сумма площадей поперечного сечения, отношение сумм диаметров конкурирующих

деревьев к диаметру центрального дерева или то же для площадей сечений. Все они не требуют большого времени для получения данных для их расчетов. Именно поэтому в ряде ситуаций они предпочтительнее пространственных [Усольцев, 2013, с. 59].

Один из принципиальных моментов при вычислении индексов конкуренции состоит в нахождении оптимального расстояния, на котором происходит взаимодействие деревьев, на котором растения «чувствуют» друг друга. Так, в 35-40 летних сосняках этот радиус изменялся в широких пределах, и оказалось, что коэффициент корреляции радиального прироста и индекса конкуренции достигает максимума при учете соседей в радиусе 5–6 м. Это составляет примерно половину средней высоты деревьев в древостое [Миндеева, 1995, по Усольцеву, 2013, с. 60]

При расчете индексов конкуренции Т. Паккала [Pukkala, 1988] использовал расстояние от центрального дерева до его соседей, равное 2, 4, 5, 6 и 8 м. Данное расстояние он назвал радиусом круга конкуренции. Как показали опыты по варьированию максимальной дистанции конкуренции в молодых древостоях сосны, достаточно учесть только деревья на расстоянии 5 м от центрального [Eriksson, 1976; Bucht, 1981, по Усольцеву, 2013, с. 60].

Существует и множество других индексов, классифицированных на 14 типов, которые включают в расчеты иногда множество показателей, в т.ч. коэффициент бокового затенения кроны, коэффициент соприкосновения крон, отношение световой части кроны дерева к общей высоте кроны и многие другие геометрические показатели и отношения для центрального и конкурирующих с ним деревьев. Они были описаны чрезвычайно подробно; были рассмотрены десятки индексов и их модификаций и более сотни формул. Для выявления влияния различных индексов конкуренции на точность оценки продукционных показателей деревьев на заложенных пробных площадях были выбраны и выполнен сравнительный анализ 10 способов их расчета [Касаткин, Семышев, 2008; Усольцев, Семышев, 2010], с помощью которых оценивается влияние на центральное дерево соседних деревьев, находящихся на определенном расстоянии от него. Сложные ресурсодинамические и «световые-геометрические» способы при этом не принимались в расчет в работе автора, поскольку требовали значительных объемов исходных данных и большого времени на обработку, не оправдываемых их большей адекватностью [Усольцев, 2013; Усольцев и др., 2018, с. 160].

Эти индексы были определены В.А. Усольцевым по данным 18 пробных площадей [ПП], заложенных в 20–40-летних естественных сосняках (8 ПП) и

20-летних культурах (10 ПП) в степной зоне на территории Тургайского прогиба в свежих (1а–III классы бонитета) и сухих борах (III–Va классы бонитета). На каждой пробной площади проводили сплошное картирование деревьев с определением у каждого диаметра кроны в четырех направлениях, диаметра ствола с точностью до 1 мм и высоты с точностью 1 см. Всего было закартировано и обмерено 2684 дерева. Площадь роста деревьев варьировала в культурах незначительно: от 1.2 до 2.6 м^2, но в большей степени – в естественных древостоях: от 0.2 до 4.9 м^2. Модели (всего 122 экз.) отбирали в количестве 6–10 экз. на каждой пробной площади по ступеням толщины в пределах варьирования диаметров [Усольцев и др., 2018, с. 122-130.

Исследования показали, что в естественных сосняках и культурах в возрасте 20 лет преобладает групповое, а к 40-летнему возрасту естественные сосняки приобретают уже случайное распределение деревьев [Усольцев и др., 2018, с. 157]. Это соответствует известному положению о групповом характере естественного возобновления сосны в островных борах Тургайского прогиба [Усольцев, 1985]. В результате индексы конкуренции, полученные по 8–10 способам ее определения, объясняли в этом детальном исследовании изменчивость фитомассы и прироста площади сечения модельных деревьев соответственно, на 5 и 11%, а в 20-летних культурах эти значения были меньше и равны всего лишь 0.2 и 3%. Радиальный прирост модельных деревьев индексы конкуренции объясняли в естественных сосновых молодняках на 36%, а в культурах на 11% [Усольцев, 2013; Усольцев и др., 2018].

Анализ некоторых других крупных работ по данной теме [Нагимов, 1999; Вайс, 2014] мы рассмотрим ниже.

О партнерстве деревьев

В следующей крупной работе В.А. Усольцева с соавторами [Усольцев и др., 2018] было констатировано, что буквально единичные работы были посвящены теме партнерства и кооперации между деревьями. Так, в работе Ю.П. Демакова [2007] отмечаются факты наличия в древостоях сосны «живого сухостоя» с регулярным приростом по диаметру и срастание корневых систем деревьев, которые говорят о том, что насаждение является единой и цельной системой, где широко распространена взаимопомощь. В другой работе [Колтунова, 2013] было установлено, что в сосняках в возрасте от 19 до 60 лет на 1 га может насчитываться до 1 тыс. деревьев, сросшихся корнями, и с увеличением возраста их доля возрастает, причем в более жестких условиях процесс кооперации корневых систем идет активнее. Эти феномены расширяют

адаптационные возможности вида и показывают, что организация сообщества древесных растений построена на единстве процессов конкуренции и кооперации [Усольцеву и др., 2018, с. 238].

Отметим, что факты срастания корней и «живых пней» были известны уже достаточно давно [Юновидов, 1935; Крамер, 1963; Сляднев, 1953; Рахтеенко, 1963; Савельева, 1969; Калинин, 1983], однако они никак не поколебали доминанту конкуренции в исследованиях, так как воспринимались скорее как исключение и редкие феномены.

Рассматривая концепции конкуренции в историческом аспекте В. А. Усольцев с соавторами [2018] отмечает, что с конца 19 века в биологии начала доминировать теория отбора Ч. Дарвина. Хотя он «…вкратце указал на значение взаимной помощи для сохранения и прогрессивного развития животных. Но кто же с тех пор разработал его мысль? Её просто постарались забыть» [Кропоткин, 1922а, по Усольцеву и др., 2018, с. 232]. В этот период дарвинизм получает сильную политическую окраску, когда сомневающихся относили к категории «врагов», благодаря в том числе статьям будущего академика К. А. Тимирязева. Для его статей был характерен воинствующий эмоциональный стиль с целью победить врагов-антидарвинистов, применяя софистику и ненаучные методы с подменой понятий и разного рода уловки [Поздняков, 2016, по Усольцеву и др., 2018, с. 233]. Дарвинизм и поныне является парадигмой биологии. Так, О. Э. Костерин [2007] отмечает, что современный дарвинизм является «…отправной точкой любого биологического исследования по умолчанию» [по Усольцеву и др., 2018, с. 234].

Далее авторы обзора приводят ссылки на работы тех лет, когда грубая модель эволюции Ч. Дарвина была навязана всему миру его воинствующими последователями-атеистами, преследовавшими политические цели [Баландин, 2010, по Усольцеву и др., 2018, с. 234]. Множество работ, противоречащих дарвинизму, более 100 лет не включались в парадигму биологии вплоть до XXI века, начиная от работ выдающихся ученых К. Ф. Кесслера, В. М. Бехтерева, В. В. Докучаева. В отличие от ортодоксального дарвиниста К. Е. Тимирязева они полагали, что «…организация сообществ построена на единстве процессов конкуренции и кооперации как в животном, так и в растительном мирах. При этом закон взаимной помощи в прогрессивной эволюции играет гораздо более важную роль, чем закон взаимной борьбы» [Усольцев и др., 2018, с. 236].

За неимением в современной биологии крупных работ упомянутого плана и с целью анализа понятий взаимопомощи и борьбы за существование, авторы

далее обращаются к давним работам по социологии, выделяя работу «Взаимная помощь среди животных и людей как двигатель прогресса» [Кропоткин, 1922, по Усольцеву и др., 2018, с.239]. Ее автор считал, что «лучшие условия для прогрессивного отбора создаются устранением состязания, путём взаимной помощи и взаимной поддержки». В современном мире, однако, по-прежнему существует инерция идей Ч. Дарвина. По существу, весь 20-й век проходил под знаком идей борьбы за существование во всех сферах исследований. Хотя *позитивная модель эволюции*, с идеями внутри- и межвидовой кооперации биологических видов находит ныне все больше сторонников [Назаров, 2005].

Далее авторы обзора приводят ссылки на множество работ, развивающих эти идеи уже для человеческого общества, начиная с работ Д.И. Менделеева и заканчивая работой профессора МГИМО В. Ю. Катасонова, в книге которого «О проценте ссудном, подсудном, безрассудном» он доказывает, что современная рыночная экономика неизбежно ведет человечество к гибели [Катасонов, 2010, по Усольцеву и др., 2018, с. 249]. На фоне грядущего потепления климата и после обсуждения и принятия ряда конвенций ООН по климату, идея смены модели развития человеческого общества на социально- и природоориентированную получает признание у множества ведущих ученых самых разных направлений.

Таким образом, основная идея исследований структуры древостоев должна быть двусторонней и включать изучение и конкуренции, и партнерства.

1.2. Модели структуры

Модели лесных насаждений относятся к биологическим моделям высшего порядка – популяционно-биоценотического уровня организации. Они являются переводом положения учения о биогеоценозах В.Н. Сукачева от словесного описания на более высокий уровень формализации вплоть до математического описания. Входами в модель служат независимые переменные величины, выходами – зависимые. Модель не вскрывает механизмы явления, оставляя интерпретацию модели специалистам. Моделировать экосистему означает понять ее структуру, взаимосвязи между элементами и внешними факторам и, как следствие, прогнозировать ее развитие с последующим выбором оптимального управленческого решения [Фарбер, Соколов, 2005].

В связи с переводом описания древостоя на математический язык, вопрос площади питания дерева выступает как один из важнейших. Надо признать, что в процессе познания лесных экосистем в количественном описании делаются

лишь первые шаги, несмотря на вековой опыт лесоводства, где управление даже простыми древостоями осуществлялось во многом интуитивно, а также проверкой на практике множества предлагаемых видов рубок и их вариантов [Георгиевский, 1948, 1957; Луганский, Залесов и др, 1993].

К настоящему времени опубликовано огромное количество работ, в которых вопросы роста древостоев решаются на основе многомерного анализа таксационных показателей. Их решение можно разделить на два уровня:

- макроценоз или древостой (коллективные взаимоотношения);
- микроценоз или отдельное дерево (индивидуальные взаимоотношения).

Анализ пространственной структуры древостоев показал, что в них существуют неоднородности в виде биогрупп, возникающих в молодости и сохраняющихся длительное время [Лесков, 1956; Проскуряков, 1981; Бузыкин и др., 1983; Маслаков, 1984; Сеннов, 1999]. Их исследование не было каким-то отдельным направлением, так как наряду с необходимым для такого рода исследований анализом площадей питания деревьев [Assmann, 1961; Тябера, 1978] решалось множество других задач по моделированию таксационных показателей [Antanaitis, 1971; Schafer at el., 1992; Kahn, Pretzsch 1997].

Вопрос индивидуальных взаимоотношений между деревьями изучался в несколько этапов.

На первом этапе в 1950–1990 гг. территориальное размещение деревьев изучалось традиционными методами лесоведения и таксации [Лесков, 1956; Нестеров, 1961; Плотников, 1968; Закономерности…, 1976; Мартынов, 1976; Кузьмичев, 1977; Проскуряков, 1981; Бузыкин и др., 1983; Секретенко, 1984; Маслаков, 1984;], а также исследованием так называемых биогеоактивных зон [Марченко, 1973, 1995]. Целью работ в основном было определение оптимальной площади питания, а из нее – густоты насаждений [Поляков, 1973; Кайрюкштис, Юодвалькис, 1976; Чудный, 1976; Тябера, 1978, 1980].

На втором этапе появилась знаковая для конкурентных отношений деревьев работа В.М. Горячева [1999], по-видимому, даже единственная в своем роде. В ней автор показал, что пик прироста по диаметру в течение вегетации совпадал только у деревьев, растущих в отдалении, тогда как в биогруппах пики прироста были разнесены во времени на 1–2 недели, т.е. деревья-соседи разделяли экологическую нишу по времени отбора элементов питания из нее. Усиливало выводы этой работы исследования А.М. Голикова по правым и левым формам деревьев, обладавших не только генетическими отличиями [Голиков, 2011], но и совершенно противоположной адаптацией: левые формы предпочитают сухие условия и плохо переносят конкуренцию, а

правые любят влажные почвы и конкуренцию переносят лучше. При этом густота влияет сильнее, чем почва, и в период сомкнутости правые формы начинают преобладать даже на снижающих их рост сухих почвах. Поэтому регуляцию густоты следует начинать очень рано для сохранения в качестве деревьев-лидеров левых форм [Голиков и др., 2008, 2012]. Эти работы существенно расширили концепцию древостоя в понимании В.Н. Сукачева [Сукачев, 1953], как сообщества растений, организованных борьбой за существование, где приоритет отдавался лишь прямой конкуренции за ресурсы.

На этом втором (современном) этапе конкурентная концепция древостоя продолжает преобладать, и многие работы используют только конкурентное взаимодействие, не рассматривая иные отношения [Нагимов, 1999; Усольцев, 2013; Вайс, 2014; Борисов и др., 2014; Грабарник, Секретенко, 2015].

Но появились работы и иного плана, в частности, Ю. П. Демакова с соавторами [2008 –2013], где многомерный пространственный анализ для деревьев самых разных пород с их подробным картированием показал, что размеры деревьев зависят в большей степени не от внутривидовой конкуренции за жизненное пространство, а от экологической неоднородности биотопа и наличии в них благоприятных и неблагоприятных зон. Так, изучение микроценозов в 80–150-летних смешанных древостоях с высокой полнотой, состоящих из шести пород показало [Демаков и др., 2013], что деревья освоили большинство учетных площадок размером 5×5 м слабо, так как полнота и густота их оказалась низкой, а диаметр деревьев небольшим. Число же площадок с очень высокой полнотой составило всего 1.6–3.7 %. Деревья на них оказались очень крупные, при этом также и число деревьев на них было выше. Данный феномен авторы предложили объяснять с трех позиций:

- наличием в биотопе особо благоприятных зон для роста деревьев;
- наследственными свойствами особей;
- эффектом группы (принципом Олли) [Демаков и др., 2013].

Вполне естественно, что все три позиции нуждается в специальной проверке, но пожалуй в первый раз эти три фактора были так четко названы в числе основных. Каждый из них, в свою очередь, может распадаться еще на целый ряд факторов, которые можно попытаться как-то измерить.

Пространственные модели горизонтальной структуры древостоя пока ограничиваются их верификацией (проверкой согласия) с реальным размещением деревьев на площади. Такие модели учитывают десятки показателей и представляют живую систему через геометрические параметры деревьев и их расположение с попытками увязать их с конкуренцией за свет

[Грабарник, 2010]. Так, были рассмотрены четыре модели размещения деревьев: случайное, кластерное, модель угнетения и регуляризованное [Секретенко, Грабарник, 2015]. Но методы пространственной статистики не проясняют причин, по которым деревья «выбирают» ту или иную модель. Т.е. явление описывают математически, но причины его как были, так и остаются неизвестными. Например, появление биогрупп, в которых растет от 28 до 57% всех деревьев [Ипатов, Тархова, 1975; Марченко, 1995; Рогозин, 2018-а] авторами этих моделей так и не было объяснено.

Конечно, можно предлагать древостою «примерить» на себя ту или иную модель стохастических процессов, например, модель случайных точечных полей, на которой авторы [Секретенко, Грабарник, 2015] настаивают, как наиболее перспективной. Но увлечение такими моделями заводит объяснение типов структуры в некий логический тупик. Типы эти известны и встречаются везде. Но до понимания, *почему* образуются столь сложные структуры, дело не доходит. Неясно, какие факторы формируют случайный, а какие кластерный типы поселения деревьев, а в более широком плане и поселение растений вообще – образование их парцелл, какой тип размещения лучше, в каком возрасте и т. д. Происходит лишь фиксация этих типов, где основным фактором их образования принимается конкуренция за свет [Бузыкин и др., 1985; Чумаченко, 1998; Грабарник, 2010; Усольцев, 2013; Колобов, 2014].

В последнее время появилось увлечение моделями, которые включают до 20 физических и биологических параметров [Грабарник, Секретенко, 2015]. Возник интерес и к динамике лесных прогалин (концепция «gap-динамики»), где изучают достаточно большие прогалины, их зарастание подростом, образование и распад куртин в сложных по составу, разновозрастных и многоярусных насаждениях. Причем «gap-динамика» претендует даже на основную теорию, описывающую естественное развитие ненарушенных лесов [Карев, 1999; Кислов и др., 2015; Суховольский и др., 2016]. Для их изучения насаждения подбирают по возрастам одномоментно и далее конструируют их состояния в «возрастной динамике» [Колобов, 2014; Кузьмичев, 2013]. На наш взгляд, при использовании разного возраста объектов, взятых в статичном положении, получают модели «квази-развития», и вполне справедливо для них используют термин «динамика», т.е. некое «движение» состояний объектов во времени, где нет развития конкретного объекта, например, за 10-20-30 лет. В этом случае возможно повторение ошибок, допущенных при разработке таблиц хода роста насаждений, когда собственно *развитие насаждений* от нас

ускользало. Причины этих ошибок рассмотрены в нашей монографии [Рогозин, Разин, 2015].

Для понимания сути той или иной модели размещения растений нужно искать причины столь разных типов поселения растений, а этого пока нет. Случайный тип возникает в результате конкуренции, а кластерный? И почему бы при групповом размещении не исследовать идею партнерства деревьев?

Пока эти механизмы, а также сила влияния факторов, как независимых переменных величин, действующих на модель «на входе», остается не установленной количественно. А если нет разложения факторов по их влиянию на структуру даже в самом простом древостое, то его гомеостаз объясним лишь в самых общих чертах, и его развитие прогнозируется не точно. Поэтому нужен тщательный анализ методов расчета площади питания дерева и выбор независимых переменных величин.

1.3. Понятия, термины и методы моделирования средней площади питания

В сельскохозяйственной науке среднюю площадь питания растений рассчитывают, исходя из густоты стояния растений на 1 м^2. Далее определяют сторону квадрата с такой же площадью и считают ее средним расстоянием между растениями [Синягин, 1975]. Аналогично ее рассчитывают и для деревьев в древостоях.

Наиболее обширные исследования этого вопроса в последние годы были проведены З. Я. Нагимовым на Урале, с использованием данных 270 пробных площадей в сосновых типах леса разного возраста в диапазоне 1–5а классов бонитета [Нагимов, 2000]. Средняя площадь питания дерева рассчитывалась делением размера пробной площади на число деревьев на ней. При моделировании и подборе уравнений было выяснено, что две независимые переменные – возраст и средняя площадь питания дерева объясняли 92.5–96.2% изменчивости среднего диаметра древостоев; было подобрано уравнение и для высоты, в котором в зависимости от класса бонитета коэффициенты детерминации колебались от 0.875 до 0.934, т.е. возраст и средняя площадь питания дерева объясняли 88–93% изменчивости средней высоты и диаметра древостоев [Нагимов, 2000, с. 95–96].

Столь сильное влияние средней площади питания дерева (густоты насаждения) на среднюю высоту и средний диаметр деревьев вызывает

повышенный интерес к ее изучению также и на индивидуальном уровне – на уровне отдельного дерева и его окружения, т.е. в микроценозе.

Однако здесь начинаются сложности, связанные с конкуренцией деревьев. Поэтому применяют специфические методы с выдвижением ряда положений, которые следует подробно обсудить прежде, чем начинать анализ понятия «площадь питания дерева». Для начала возьмем длинную цитату из упомянутой работы З. Я. Нагимова, посвященную этому вопросу. На взгляд автора, «…при определении площадей роста деревьев следует руководствоваться следующими предпосылками:

1. Вся площадь насаждения, за исключением больших прогалин и окон, полностью используется произрастающими в нем деревьями.

2. Каждое дерево в насаждении в процессе конкурентных взаимоотношений с соседями использует для своего роста определенную площадь в соответствии со своими размерами и особенностями пространственного окружения.

3. Площадь роста в известной степени является условной, границы ее в насаждении могут быть выражены неясно вследствие возможного взаимного перекрытия корневых систем деревьев. В данном случае допускается, что проникновение корней деревьев в сферу питания других взаимно компенсируется» [Нагимов, 2000, с. 82].

Эти предпосылки (вводные положения) предлагается учитывать и следовать им при расчете индивидуальной площади питания, а далее моделировании ее оптимальных параметров. Однако они отражают, порой неявно, некоторые не выясненные и односторонние представления о горизонтальной структуре лесного насаждения.

Так, из предпосылки 1 следует, что прогалины и окна следует исключать при исследовании площади питания потому, что они «случайны», а также потому, что деревья используют их не полностью. Из этого вводного положения вытекает методика отбора модельных деревьев, которые следует находить вдали от прогалин и окон, т. е. в более густых местах насаждения. Между тем, эти неоднородности в структуре древостоя, а также скопления деревьев (биогруппы) естественно возникают в любых природных насаждениях и лесных культурах и сохраняются длительное время, вплоть до старости [Нестеров, 1961; Ипатов, Тархова, 1975; Маслаков, 1999; Сеннов, 1999]. Т.е. прогалины и окна в пологе нельзя исключать при изучении индивидуальных площадей питания деревьев, и этот вопрос принципиален. Сторонники математических методов при анализе площади питания дерева в

пределах пробной площади будут настаивать на их случайном характере; однако при анализе горизонтальной структуры большого массива леса те же математики будут считать такие окна вполне закономерным явлением. Получается, что, детально изучая один узкий вопрос (индивидуальную площадь питания дерева), упускается из виду другой (структура древостоя в целом на большой площади).

Предпосылка 2 учитывает лишь конкурентные отношения соседствующих деревьев. Их результатом является некий «захват» деревом определенной площади питания, соответствующей его размерам и размерам соседей. Рассматривая этот вопрос в русле учения о биогеоценозах [Сукачев, 1953] в последнее время он получил развитие в расчетах «областей доминирования» у сосны, подобных территории доминирования у мелких млекопитающих [Борисов, Иванов, Екимов, 2014]. Далее этот метод сразу нашел практическое применение при оценке реакции древостоя на рубку ухода [Борисов, Иванов, Петренко, 2014]. Заметим, однако, что взаимодействие между деревьями не ограничивается одной только конкуренцией, которая является основной в трактовке насаждений как сообщества растений, объединенных борьбой за существование в понимании В.Н Сукачева. Есть и другие взаимодействия, и конкуренция (доминирование) – только одна из них.

Скорее всего, конкуренция будет главной для молодого возраста. Но что произойдет в среднем возрасте и к возрасту спелости, когда полог размыкается, причем плотные скопления деревьев (биогруппы) в нем сохранятся, и будет ли конкуренция тогда преобладающей формой взаимоотношений между деревьями? Динамика конкуренции в обсуждаемой предпосылке 2 совершенно не отражена, однако сразу, как модель поведения деревьев, вводится одностороннее представление о том, что в древостоях любого возраста кроме конкуренции иных взаимоотношений не бывает.

Предпосылка 3 признает, что границы площади питания дерева «могут быть выражены неясно». Это вводное положение допускает, что границы эти могут быть выражены *более ясно* в других случаях, которых подразумевается больше, но о параметрах этой «ясности границ» ничего не говорится. Более того, чувствуя слабость аргументации, далее вводится ссылка на еще один неопределенный параметр – компенсацию корневого питания вследствие взаимного проникновения корней деревьев в сферу питания других деревьев. Все эти допущения вполне оправданы для моделей описательного и логического типа, но в моделях математико-статистических они будут приводить к смещению оценок.

В итоге все перечисленные предпосылки, отраженные в позициях 1, 2 и 3, содержат множество неопределенностей; тем не менее, они служат аргументами при обосновании методов расчета площади питания и методики отбора моделей в полевых условиях. Более детальных исследований для сосны, чем у З. Я. Нагимова, в отечественной литературе мы не обнаружили; поэтому далее рассмотрим результаты, полученные им при применении разных методов определения площади питания, где они изучались на 320 модельных деревьях и были опубликованы в двух больших работах автора [Нагимов, 1999, 2000].

Касательно обсуждаемых методов нужно пояснить, что термины «площадь роста», «площадь питания», «полигоны питания» и «области доминирования» многие авторы часто не различают и используют как синонимы. Однако «площадь роста дерева» правильнее было бы называть «площадь *для* роста дерева», так как собственно рост дерева измеряют не площадью, а линейными и объемными показателями (высотой, диаметром, объемом); вероятно, сокращение термина появилось при переводе с немецкого, да так и осталось. Чтобы избежать неточностей, далее мы будем использовать термины «площадь питания» и «полигоны питания», всегда понимая под ними индивидуальные показатели. В отличие от них, *средняя* площадь питания дерева определяется простым делением размера площади на число деревьев, на ней растущих.

1.4. Обсуждение методов определения площади питания

В известной степени нам повезло, так как до нас вопросом определения площади питания дерева занимались многие исследователи. В упомянутых обширных исследованиях З. Я. Нагимова [Нагимов, 1999, 2000] сравнивалось 4 метода: измерение расстояний между деревьями, полигоны роста по Брауну (с простым делением расстояний между соседями), полигоны по Штеру (с делением расстояний между соседями пропорционально их диаметрам) и выборочные круговые площадки (метод выборочных проб), а также их варианты, которых насчитывалось 7, включая метод Вейе; итоги их сравнения были подведены в докторской диссертации З. Я. Нагимова [Нагимов, 2000].

Оказалось, что при методе полигонов были нередки «абсурдные результаты», когда площади питания деревьев 4 и 5 классов Крафта оказывались больше, чем у крупных деревьев 1 и 2 классов. Также отмечалось, что в основе большинства методов лежит положение о том, что чем больше размеры деревьев, тем больше и приходящиеся им в насаждении площади питания. Однако автор замечает, что «…на основе этих методов нельзя

однозначно ответить на вопрос: обусловлены ли размеры деревьев в данный момент определенными для них площадями роста?» [Нагимов, 2000, с. 304].

Поясним, что в этом замечании речь идет о том, что если учитывают размеры соседей при выстраивании полигона, то размер этого полигона зависит как от размера центрального дерева, так и от размеров соседей. И если дерево крупное, то оно «оттягивает» на себя и большую площадь, т. е. захватывает ее и доминирует на ней. Но при методе полигонов Брауна такого не происходит, и если площадь питания крупного дерева вдруг оказывается меньше, чем у более мелкого дерева, то такой результат и кажется совершенно «абсурдным», если принять идею захвата территории более крупным деревом. Но тогда какой была эта площадь много лет назад, когда дерево было других размеров и у него было больше соседей на той же площади, остается неясным. Иными словами, сомнения здесь касаются принципиально важного вопроса – какой из двух факторов определяет площадь питания более адекватно: 1) территория, доставшаяся дереву изначально или 2) само дерево своей кроной и корневой системой захватывает себе определенную часть среды обитания и мы фиксируем этот захват (область доминирования) по косвенным показателям – размеру дерева и размерам его соседей. Если мы изучаем первый фактор (доставшуюся дереву площадь), то тогда нужен метод измерения расстояний между соседями и метод Брауна, а если изучаем область доминирования пропорционально размерам соседей, то все остальные методы.

Сравнение указанных выше методов и их вариантов проводилось З. Я. Нагимовым путем оценки уровня связей площади питания с приростом дерева за 5 лет на четырех участках; при этом выдвигалось положение, что чем выше эта связь, тем точнее метод. Однако сразу заметим, что прирост по диаметру тесно связан с размерами дерева, и у крупных деревьев он выше, чем у мелких особей, и «пропорциональные» полигоны также будут больше у крупных и меньше у мелких модельных деревьев. Поэтому теоретически искомые связи с приростом будут невелики в методе расстояний и методе простых полигонов Брауна и более высоки в «пропорциональных» методах. Именно этот результат и получился.

Так, корреляционные отношения для метода расстояний между деревьями оказались в пределах 0.25–0.35 (в среднем 0.30 по трем оценкам); для полигонов питания по Брауну они колебались в пределах 0.16–0.37 (в среднем 0.27); для полигонов питания по Штеру они увеличились до 0.58–0.82; для выборочных круговых проб их значения также были выше и составили: а) с

тремя деревьями 0.62–0.80; б) с шестью деревьями 0.70–0.92; в) с десятью деревьями 0.72–0.92 и для метода Вейе 0.60–0.84 [Нагимов, 2000, с. 305].

Подобное увеличение связей было отмечено и в методе А.К. Полякова [Поляков, 1973] при определении площади питания у сосны в виде круга с радиусом, равным среднему расстоянию между соседями, определяемому пропорционально развитию их крон. Заметим, однако, что при измерении площади питания методами «пропорциональных» радиусов А.К. Полякова, методом Штера и методом выборочных проб получаемые корреляции и корреляционные отношения с приростом дерева отражают связи трех изначально зависимых переменных величин:

1. Прироста дерева.

2. Размера дерева (диаметра и высоты ствола, диаметра кроны).

3. «Пропорциональной» площади питания дерева, определяемой расчетом полигонов по расстояниям от соседей пропорционально размерам деревьев.

Здесь первая и третья переменные величины зависят от второй – прирост дерева связан с его размерами, а «пропорциональная» площадь питания дерева уже по определению связана с его размерами. Следовательно, первая величина (прирост) будет зависима также и от третьей величины («пропорциональной» площади питания дерева). Все эти построения похожи на то, как если бы мы объясняли «влияние» диаметра дерева на его объем. Влияние это есть, и оно высокое, но диаметр дерева – это не фактор, а «главная часть» объема дерева, и его используют для расчета объема ствола в квадрате, умножая на высоту и коэффициент формы ствола (видовое число). Странно, что на это обстоятельство исследователи площади питания дерева почему-то не обращают внимание. Однако в биологических науках к *факторам* принято относить условия окружающей среды (абиотические факторы), а также условия внутренней среды в фитоценозе или в биоте в целом (биотические факторы), влияющие на развитие особи.

В нашем случае таким биотическим фактором на уровне фитоценоза будет его густота, а для уровня отдельного дерева – *изначальная* площадь питания, доставшаяся дереву в молодом возрасте. И в этом состоит коренное отличие *индивидуальной* площади питания дерева от *средней* площади питания дерева по древостою, которая рассчитывается простым делением площади на число деревьев на ней, т.е. это величина, обратная густоте. Понятно, что текущая густота определяется простым расчетом числа деревьев на единице площади, а вот с индивидуальной площадью питания, доставшейся дереву изначально, все не так просто. Установить ее даже в средневозрастном насаждении, не говоря о

спелом древостое, можно только приблизительно, так как отпадающие деревья не оставляют следов иногда уже через 30-40 лет, особенно когда их размеры малы, а условия благоприятны. Но нужно стремиться к этому, так как изначальная площадь питания как раз и будет тем фактором, который нас интересует, а не те производные «пропорциональные» площади питания, которые относят «как бы к факторам» по недоразумению. Впрочем, о последнем предпочитают умалчивать и не рассматривать суть проблемы, но обязательно ссылаются на зарубежные авторитеты, в частности, на самые первые работы в этом направлении немецкого лесовода Е. Ассманна [Assmann, 1961, 1962], который начал применять пропорциональные площади питания и, так сказать, дал им зеленый свет.

В таксации леса при составлении разного рода таблиц и моделей тщательно выбирают независимые переменные величины – это основы моделирования. Обычно это лесорастительная зона, высота над уровнем моря, далее возраст и типы условий местопроизрастания, рельеф, иногда густота насаждения [Свалов, 1979; Фарбер, Соколов, 2005; Верхунов, Черных, 2007; Семечкин, Зиганьшин, 2010; Вайс, 2014]. В нашем случае для площади питания дерева независимой переменной будет само значение этой площади, определяемое по полигонам, очерченным через центры расстояний между деревьями (метод Брауна). Можно определить как независимые и еще две переменные величины: вторая – среднее расстояние до нескольких соседей (обычно 6–10), и третья – расстояние до ближнего соседа. Их используют при расчетах площади питания, и поэтому они менее точно «работают» в качестве факторов. Однако они определяются проще и быстрее, и многие исследователи их используют.

Другие методы, основанные на определении «пропорциональных» площадей питания (метод Штера, метод Вейе, варианты метода выборочных круговых площадок), будут использовать уже зависимые переменные величины, некорректные для моделирования структуры древостоя в ее динамике, и особенно для выяснения факторов, влияющих на размер дерева. Эти методы, однако, будут хорошо отражать социальный статус дерева по отношению к «доступным ресурсам» [Борисов, Иванов, Екимов, 2014], т. е. к световому и корневому питанию, которых, конечно же, достанется больше крупным и меньше – мелким деревьям.

При моделировании оптимальной площади питания в дополнение к зависимым переменным величинам в этом сложном процессе З. Я. Нагимов использовал деревья 2–3 класса Крафта, «…как наиболее эффективно

использующие свои площади питания для увеличения прироста» [Нагимов, 2000, с. 315], т.е. применялась так называемая *типическая выборка* из средних деревьев и сублидеров, с исключением из расчетов самых крупных, а также отстающих в росте моделей. Это было сделано потому, что эти исключаемые модели показывали резкое снижение уровня связи текущего прироста с их «пропорциональной» площадью питания. Связи у этих исключаемых моделей автор определял тремя методами: по методу выборочных проб, по методу Штера и способом, предложенным автором. Полученные по этим трем методам корреляционные отношения оказались у лидеров из класса 24 см равными 0.28, 0.18 и 0.28 (в среднем 0.25). Для сублидеров из класса 20 см они были в пределах 0.29–0.40, тогда как у средних моделей с диаметрами 8–16 см эти связи колебались от 0.38 до 0.59 и составили в среднем 0.47. На основе этих данных автор сделал важный вывод о том, что рост деревьев высших рангов в меньшей степени зависит от их площади питания [Нагимов, 2000, с. 316].

Близкие результаты, т. е. слабое влияние площади питания на размер крупных и отстающих в росте деревьев, были получены и другими авторами [Поляков, 1971; Мартынов, 1976: Тябера, 1982; Вайс, 2014]. Однако отметим еще раз, что указанные авторы использовали «пропорциональные» полигоны и такие же пропорциональные расстояния между соседями.

Далее в качестве оптимальной З. Я. Нагимовым была принята площадь питания, при которой кульминирует частное от деления текущего прироста на величину площади питания. Обширный материал 42 пробных площадей позволил автору как бы «расчленить» древостой, выхватывая из него деревья 2–4 классов Крафта и далее моделируя по ним для 20–95-летних древостоев кульминацию прироста при площадях питания, принимаемых за оптимальные. Например, для 75-летнего древостоя оптимальной оказалась площадь питания дерева 10–12 м^2. Проверка расчетов была проведена по данным зависимости текущего прироста древостоев от их густоты. В результате множества других перекрестных проверок автор предложил оригинальную формулу для определения оптимальной площади питания деревьев [Нагимов, 2000, с. 306], распределяющей всю площадь древостоя между отдельными деревьями в соответствии с их размерами и окружением. Заметим, что формула эта применима для случая равномерного размещения деревьев; в случае неравномерного их размещения она значительно усложнялась введением специального коэффициента, где учитывалась относительная площадь сечения дерева. Эту относительную площадь сечения автор определял делением на высоту центрального дерева и на высоту окружающих его деревьев. В итоге

предлагаемый З. Я. Нагимовым метод расчета «пропорциональной» площади питания оказался точным, но весьма сложным.

Заметим также, что в этих расчетах исключаемые крупные и мелкие модели из ступеней толщины 24 и 4 см, снизившие силу влияния площади питания в 2 раза (от 0.47 до 0.18–0.29), отражают «расчленение» древостоя на три группы (крупные, средние и отстающие 41–48-летние деревья), которое З. Я. Нагимов использовал как основной аналитический метод при моделировании оптимальной площади питания.

И здесь следует особенно сильно возразить. Насаждение всегда представляет собой биологическое целое, обладающее новыми свойствами (свойствами целого), которых не было у его членов-деревьев. Поэтому даже идеальный древостой не может быть смоделирован с исключением его неотъемлемых частей, как бы нам этого ни хотелось. В особенности исключать крупные деревья – именно они формируют каркас структуры насаждения и являются центрами накопления его запаса [Логвинов, 1955; Плотников, 1968; Маслаков, 1984, 1999; Плантационное …, 2007]. Именно по ним составляют таблицы хода роста по так называемой «верхней высоте», по моделям 85 ранга и выше [Свалов, 1979]. Это происходит вследствие действия рангового закона роста деревьев Е.Л. Маслакова [Маслаков, 1984, с. 97], в соответствии с которым деревья высших рангов роста более устойчивы и «указывают» ход роста древостоя при его ретроспекции по моделям [Верхунов, Черных, 2007].

В отличие от крупных деревьев, рост деревьев средних размеров неустойчив, и от них нужно гораздо больше моделей для получения точных данных о ходе роста древостоя [Дворецкий, 1964; Комин, 1970]. Поэтому разгадать, почему же прирост крупных деревьев оказался связан с их площадью питания намного слабее, причем рассчитанный даже по ее завышенным значениям в «пропорциональных» полигонах питания, представляется делом чести для исследователей-лесоводов.

О крупных деревьях вообще разговор особый, так как среди них выделяют так называемые «плюсовые» деревья, необходимые для генетического улучшения лесов. Из обширных исследований З. Я. Нагимова следует, что такие деревья обязаны своими размерами приходящейся им пропорциональной площади питания в среднем на 25% (см. выше корреляционные отношения для них). Заметим, что все связи, о которых шла речь, были статистически достоверны. Сила влияния фактора, т. е. влияние «пропорциональной» площади питания, которую фиксировали эти корреляционные отношения в качестве меры оценки связи, чрезвычайно важна для лесной генетики и

селекции. Они позволяют понять, насколько сильно площадь питания дерева детерминирует его размеры и фенотип.

Повторим, что по данным З. Я. Нагимова для крупных деревьев доля влияния «пропорциональной» площади питания на прирост равна в среднем 25%; близкие данные дает, однако, и метод обычных полигонов роста по Брауну, где корреляционные отношения были равны в среднем 0.27 [Нагимов, 2000, с. 305].

Влияние генотипа дерева на рост и продуктивность сосны, по данным исследований и в обзорах лесных селекционеров, составляет от 20 до 40% [Исаков, 1999; Тараканов, 2003; Царев, 2013]. В итоге получаем силу влияния этих двух факторов (площади питания и генотипа) на размер дерева в их сумме равной примерно 55%. Остается еще 45% влияния не учитываемых факторов, определяющих размер деревьев в однородном древостое в одинаковых условиях. Т.е. почти половина изменчивости размеров дерева на индивидуальном уровне не имеет математико-статистических объяснений, какие же факторы здесь действуют. И они не просто «не учитываемые», они неизвестны! Почему же так получилось, что на эту неизвестность не обращали внимания ранее? Вероятно потому, что исторически в биологических науках доминировала парадигма «борьбы» индивидуумов за свое существование, и естественный отбор рассматривали исключительно как результат этой борьбы в конкуренции за ресурсы питания. В результате конкуренция понималась как некий универсальный инструмент регуляции и основа всех отношений вообще между деревьями при формировании насаждений.

Заметим, что приведенные здесь из научной литературы данные справедливы для сосняков в основном среднего и приспевающего возраста, и неясно, какими они будут далее. Можно только предполагать, что влияние площади питания будет слабеть, так как все типы размещения деревьев в насаждении – случайный, групповой и равномерный существуют длительное время как необходимые элементы его горизонтальной структуры [Нестеров, 1961; Плотников, 1968; Ипатов, Тархова, 1975; Маслаков, 1984; Марченко, 1995], и сохраняются до возраста спелости [Сеннов, 1999; Маслаков, 1999; Рогозин, Копылов, Красильников, 2017].

Казалось бы, детальные исследования З.Я. Нагимова, вобравшие в себя множество идей моделирования, должны были подвигнуть исследователей на использование его подходов, их проверку и совершенствование. Однако каждый исследователь вносит что-то свое и освещает вопрос с иной стороны.

Так, А. А. Вайс [Вайс, 2009] исследуя структуру кедровых насаждений, приводит 8 корреляций между радиальным приростом и средним расстоянием до соседей, а также с напряженностью конкуренции; среднее значение этих корреляций оказалось равно 0.38, но только в одном случае связь была достоверна. Далее в докторской диссертации [Вайс, 2014] автор исследовал уже 75 пробных площадей в самых разных насаждениях из нескольких пород и данные по 596 моделям. При изучении структуры древостоя автор выделял «социальные группы» – искусственные образования с любым случайно выбранным деревом, помещаемым в центр многоугольной выборки, для которого рассчитывали два показателя: а) среднее расстояние до соседей; б) отношение суммы диаметров крон 1–16 соседей к диаметру кроны центрального дерева. Второй показатель был назван «напряженность конкуренции». В результате автор сделал общий вывод «…о слабом влиянии параметров размещения деревьев (асимметрии распределения расстояний, среднего расстояния) на основные объемообразующие показатели (высоту, диаметр на высоте груди, видовое число, видовой цилиндр). Этот вывод подтверждает мнение ученых о том, что структура древостоев формируется в молодом возрасте, а в последующие годы это влияние сглаживается» [Вайс, 2014, с. 13–14].

1.5. Оптимальное размещение деревьев

Слово «сглаживается» в предыдущем абзаце – ключевое и означает ослабление связей, и причины этого непонятны. Связи и так слабые, следовательно, расстояние до соседей будет влиять на размеры деревьев все меньше и меньше, а связи будут стремиться к значениям, близким к нулю, так как расстояния между деревьями увеличиваются. Подтверждение ослабления и даже исчезновения влияния площади питания на прирост и продуктивность древостоев в среднем и приспевающем возрасте можно найти в работах С. Н. Сеннова [Сеннов, 1984, 1999]. В этих работах тщательно и долго в опытных рубках верифицировали идею оптимизации площади питания дерева при уходе за лесом, который проводили путем многократных разреживаний в стремлении равномерно разместить деревья по площади.

Истоки подобного ухода за лесом восходят к началу 20 века, когда была предложена идея ухода за «деревьями будущего». Она имманентно существуют и поныне в правилах ухода за лесом. Эту идею, а также идею снижения густоты в насаждениях в момент наибольшей их дифференциации как раз и применяли

в опытных рубках в первой половине 20 века, и С. Н. Сеннов впервые в России подвел их итоги в 1984 г. В результате теория прореживаний в среднем возрасте оказалась несостоятельна – деревья и древостой почему-то «не слушались» лесовода и не повышали продуктивность, если площади питания у них увеличивали путем разреживаний в возрасте старше 40 лет [Сеннов, 1984, 1999]. Причины такого полного несоответствия теории рубок ухода практическим результатам в те годы так и не были выяснены.

Подтверждение «непослушания» деревьев давним теориям развития леса ныне обнаружено при теоретико-математическом анализе хода роста древостоев [Алексеев, 2014]. Оказалось, что разреживания как прием промежуточного пользования общую продуктивность древостоев не увеличивают. При этом наибольшее влияние на уменьшение запаса к возрасту главной рубки имеет последнее по времени разреживание. Поэтому вполне закономерно интенсивные рубки ухода в среднем возрасте имеют своим результатом разрушительные последствия [Рогозин, 2017].

Существует и еще одна особенность горизонтальной структуры лесных насаждений, в которых естественные скопления деревьев (биогруппы) являются ее неотъемлемой частью в любом возрасте, и в них растет 28–57% деревьев [Марченко, 1995; Ипатов, Тархова, 1975; Горячев, 1999; Рогозин, 2018*а*]. Эту особенность ученые периодически обсуждают, так как она противоречит классическому пониманию лесного биогеоценоза в трактовке В. Н. Сукачева о том, что древостой – это совокупность растений, организованных борьбой за существование [Сукачев, 1953].

На основе этого положения равномерное размещение растений является целью уходов за структурой древостоя, и оно широко применяется при создании лесных культур. Но одна только конкуренция не объясняют многообразие горизонтальной структуры даже простых древостоев, а биогруппы, являясь атрибутом древостоя, дезавуируют все логические модели равномерного размещения деревьев, т.е. именно тех моделей, на которых основаны Правила рубок ухода [Рогозин, Разин, 2015; Рогозин, 2017].

Проведенный выше анализ литературы постепенно подводят нас к мысли о том, что основные положения лесоводства, основанные на доминанте конкурентных отношений на всех структурных уровнях древостоя, т. е. от уровня фитоценоза до уровня микроценоза (биогрупп и куртин), нуждаются в пересмотре, а далее нужны и новые правила ухода за лесом. Правила эти должны вытекать из понимания того, как «работают» деревья в составе древостоя. Многочисленные экспериментальные факты в длительных опытах с

рубками ухода на основе старой парадигмы, в том числе идея освобождения «деревьев будущего» от конкурентов-соседей, давно показывают свою несостоятельность и компрометируют лесоводство.

При обсуждении теоретических положений рубок ухода за лесом указанные противоречия их сторонники сглаживают, либо вообще не обсуждают, стараясь не трогать основы существующих правил. Однако вопросы эти возникают вновь и вновь, вызванные тяжелыми последствиями прореживаний и проходных рубок. Нередко моделирование индивидуальной площади питания дерева уводит исследователей в расчеты освещенности, затенения кронами соседей и многие другие аспекты, включая географическую широту местности и определение конкурентной ситуации между деревьями с помощью до 12 различных индексов [Pukkala, Kolström, 1987; Pukkala, 1989; Biging, Dobbertin, 1992; Pretzsch 1995; Грабарник, 2010]. При этом механизм взаимодействия деревьев, а также появление биогрупп и существование в них чуть ли не половины деревьев остаются по-прежнему без внятных объяснений. Описание биологических механизмов явления языком математики объясняет лишь внешнюю сторону явления. В этом плане можно приветствовать формализацию взаимодействий между деревьями с иерархическим разделением древостоя на три уровня: древостой, «социальная группа» и отдельное дерево, предложенную А. А. Вайсом, несмотря на искусственность термина «социальная группа», которую признает и сам автор [Вайс, 2014]. В этом понятии предлагается объединить промежуточные между фитоценозом и деревом структуры (ценноячейки, биогруппы, куртины, парцеллы), т. е. выделять «мини-древостой» вокруг произвольно взятого дерева. На наш взгляд, площадь питания дерева в «социальной группе» будет близка к методу выборочных проб З. Я. Нагимова [Нагимов, 2000].

Однако здесь важно отметить, что новый термин в описании известных объектов и явлений совсем не значит, что мы понимаем их внутренний механизм. Природное явление «древостой» во многом остается пока вещью в себе, а его модели – «черным ящиком», где есть только вход и выход [Фарбер, Соколов, 2005]. Т.е. «на входе» мы воздействуем на фитоценоз каким-либо мероприятием и смотрим, что же получилось «на выходе»..

Заглянуть в этот черный ящик непросто, и это попытался сделать В. М. Горячев, исследуя девственные елово-пихтовые леса Урала [Горячев, 1999]. Оказалось, что прирост у деревьев рассредоточен во времени и по территории: деревья с близким типом прироста произрастали, как правило, на значительном расстоянии друг от друга, а в биогруппах росли деревья с разной

динамикой прироста, отличающейся максимумами, разнесенными во времени на 7–14 дней. Т. е. деревья с близким типом прироста росли далеко друг от друга, а с разной его динамикой образовывали биогруппы.

И это только один слой «упакованных» в «черном ящике» модели древостоя биологических явлений. А есть еще правые и левые формы деревьев с отличиями в геноме и совершенно противоположными предпочтениями к условиям увлажнения и конкуренции, без которых ныне уже немыслимо представить теорию развития и гомеостаз лесных насаждений [Голиков, 2011, 2014; Голиков, Жигунов, 2013; Рогозин, Голиков, Разин, 2015; Рогозин, Разин, 2015]. И все эти явления надо как-то учесть в логических, а далее конкретизировать силу их влияния в математико-статистических моделях.

Логические модели возможных последствий для леса выстраивает почти каждый лесовод перед тем, как что-то делает с насаждением, оправдывая свое вмешательство в его структуру, например, прореживанием или проходной рубкой. Для логических моделей важно знать, сильно или слабо повлияет на размер дерева доставшаяся ему площадь питания. Это будет давать представление о том, насколько расстояние до соседа, как внешний фактор, будет определять, так сказать, «суверенитет дерева» (независимость его роста от влияния соседей).

В проанализированных работах З. Я. Нагимова и А. А. Вайса сила влияния обычных полигонов питания на прирост и размер дерева оказалась небольшой (в среднем 27%), в отличие от влияния *средней* площади питания дерева в целом по древостою (густоты древостоя). Эта *средняя* площадь питания, как независимая переменная величина, объясняла уже 88–93% изменчивости средних высот и диаметров, о которой мы уже упоминали, ссылаясь на результаты З. Я. Нагимова. Таким образом, на уровне ценоячеек, биогрупп, «социальных групп», одним словом, у отдельных деревьев в окружении ближних соседей, сила влияния площади питания снижается в 3 раза и более – в сравнении с ее действием на уровне фитоценоза.

Такое снижение вызывает много вопросов, так как парадигма ориентирует нас на то, что конкуренция в таких мини-древостоях *должна быть* в среднем примерно такой же, как и в древостое – с колебаниями от очень сильной в плотных биогруппах до слабой вблизи окон в пологе. При этом предполагается, что густота и размеры деревьев «укажут» нам, где конкуренция выше или ниже. Поэтому возникает стремление применить отражающие результат этой конкуренции «пропорциональные» площади питания, хотя сама площадь питания как независимая переменная при этом исчезает – она в этих полигонах

зависима и от размера центрального дерева, и от размеров соседей. Естественно, ее «влияние» на прирост дерева возрастет, а связи поднимутся до более высокого уровня чисто формально.

Следующим важным моментом проанализированных работ является акцент на исследования в молодняках и средневозрастных насаждениях. И это отчасти понятно, так как именно в них видна дифференциация деревьев и их социальный статус, показывающий их потенциальную способность достигать тех или иных размеров к спелости. Однако в среднем возрасте прирост древостоя уже не максимален – он снижается, и его снижение – главное отличие морфогенеза средневозрастных насаждений от молодняков. Как-то повлиять на него в масштабах всего древостоя уже невозможно, так как линия его развития обладает определенной инерцией. После пика прироста, в возрасте примерно 30-45 лет, эту инерцию определяют в сильнейшей степени *генетические причины* [Голиков, 2011, 2014; Рогозин, Разин, 2015]. Отдельные же деревья прирост сохраняют, и это вводит в заблуждение тех исследователей, которые изучают результаты рубок ухода, так сказать, по сокращенной программе – только по модельным деревьям, и только по приросту по диаметру, и не пытающихся далее составлять таблицы хода роста и моделировать развитие древостоя в целом, где главным показателем является прогресс полноты (суммы площадей сечения деревьев). Модели древостоев сложнее на порядок, и немногие отваживаются их изучать.

1.6. Модели и закон развития одноярусных древостоев

Модели *развития* древостоев ели в зависимости от их начальной густоты были предложены Г.С. Разиным еще в 1979 г. [Разин, 1979]. Он разработал также таблицы хода роста и стандартные таблицы полнот и запасов для основных лесообразующих пород в Пермском крае, а далее сформулировал на их основе *закон морфогенеза* одноярусных древостоев, о котором мы еще расскажем дополнительно в последней главе этой книги.

В моделях Г.С. Разина тренды сомкнутости крон и сомкнутости полога *предопределяют* развитие всех остальных таксационных показателей. Об этом многие исследователи почему-то часто забывали и по традиции считали главными в развитии древостоев диаметр, высоту и полноту. Конечно, они важны, но они – лишь следствие работы фотосинтезирующего аппарата, и кроны всего насаждения суммарно определяют его мощность.

Как раз при анализе сомкнутости крон и был открыт Г.С. Разиным закон морфогенеза древостоев, суть которого отражает график, впервые опубликованный в журнале «Лесоведение» в 1979 г. и который с небольшими изменениями мы показываем ниже (рис. 1.1).

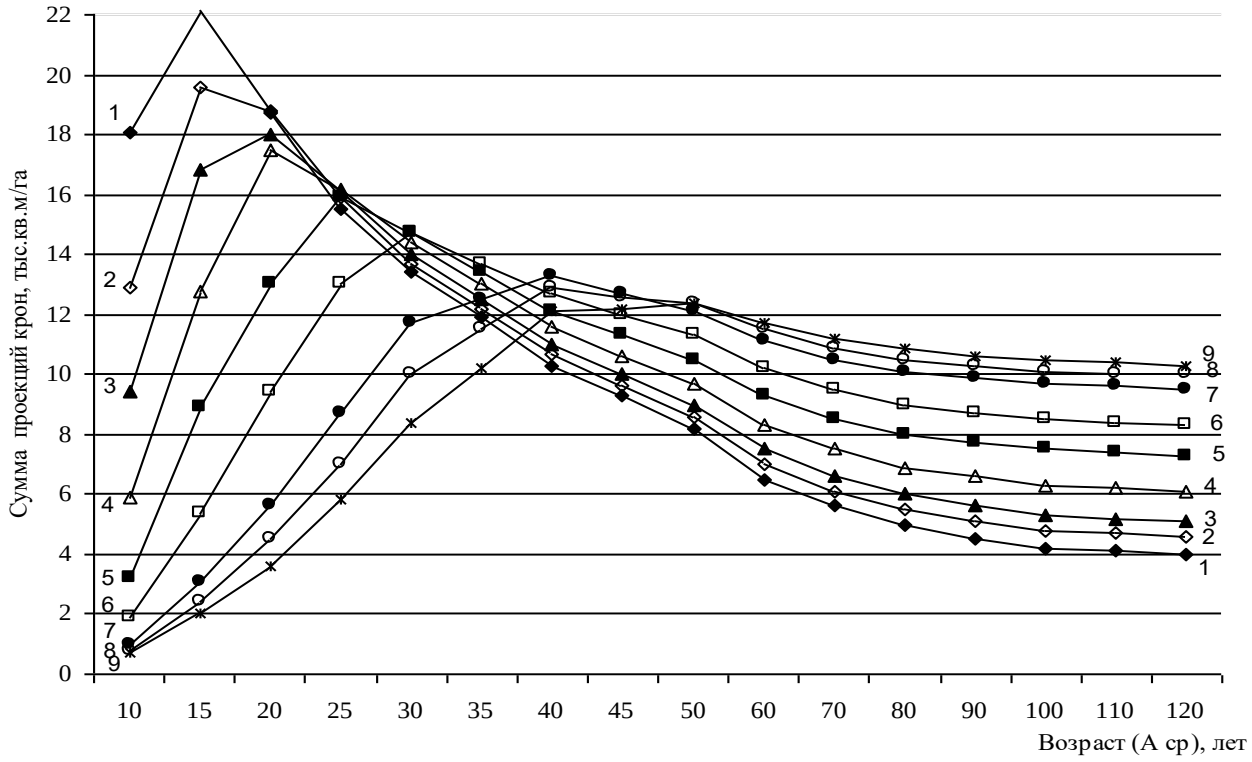


Рис. 1.1. Действие закона морфогенеза одноярусных древостоев Г.С. Разина на примере динамики сумм горизонтальных проекций крон ($м^2$/га) при начальной густоте древостоев, шт./га: 1–61800; 2–31900; 3–20300; 4–10300; 5–5060; 6–2940; 7–1650; 8–1290; 9–1034 [по Рогозин, Разин, 2015, с. 62].

Из этого закона вытекает множество следствий и новые принципы выращивания леса на основе специальной формулы оптимальной густоты, применимой для большинства лесных пород. В ней учитывается высота древостоя средняя и верхняя, средний диаметр и сбег ствола, которые существенно отличают эту формулу от других, и на которую получено авторское свидетельство на изобретение [Рогозин, Разин, 2015, с. 213].

Заслугой Г.С. Разина является также выделение в моделях развития древостоев фаз прогресса и регресса, которые детерминированы начальной густотой. Они обуславливает новые принципы ухода за лесом: активные рубки в фазе прогресса и пассивные рубки с удалением только ослабленных деревьев в фазе регресса. В моделях хода роста еловых древостоев, составленных для диапазона начальных густот от 247.0 до 1.17 тыс. шт./га (всего 15 моделей),

начало фазы регресса показано затемнением одной ячейки в таблицах хода роста [Рогозин, Разин, 2015, с. 236–250]. И регресс для показателя сомкнутости крон в густых моделях начинается уже в 20, и даже в 15 лет (см. рис. 1.1).

Именно учет действия закона Г.С. Разина позволил З. Я. Нагимову взять среднюю площадь питания дерева (густоту насаждения) в качестве независимой переменной и объяснить ее действием 88–93% изменчивости средних размеров деревьев в насаждениях разного возраста и бонитета.

Однако подобных данных нет для отдельного дерева, для «ценноячеек», биогрупп и «социальных групп», промежуточных между структурой всего фитоценоза и отдельным деревом [Вайс, 2014]. Неизвестно, как меняется в них с возрастом сила влияния площади питания дерева на его размеры в зависимости, например, от нахождения дерева рядом, вдали или внутри скопления деревьев, а также рядом с прогалинами. Это крайне важно для понимания механизма взаимодействий между деревьями внутри фитоценоза, в котором, кроме конкуренции, существуют и действуют совершенно неизученные пока явления толерантности и партнерства при освоении достающихся деревьям ресурсов питания.

1.7. Выбор методики изучения и расчета площади питания

Выше по литературным данным был проведен анализ следующих основных методов расчета индивидуальной площади питания дерева:

- измерение расстояний между деревьями;
- полигоны роста с простым делением расстояний между соседями;
- полигоны с делением расстояний между соседями пропорционально их диаметрам;
- выборочные круговые площадки;
- «социальные группы» с отношением суммы диаметров крон соседей к диаметру кроны центрального дерева.

Оказалось, что если авторы безоговорочно принимали положение о том, что чем больше размеры деревьев, тем больше должна быть и приходящаяся им площадь питания, то тогда для ее оценки использовали три зависимых переменных величины:

1 – прирост дерева;

2 – диаметр дерева или размер кроны;

3 – площадь питания, определяемая по расстояниям, рассчитанным пропорционально размерам центрального дерева и его соседей.

Так как первая и третья величины зависят от второй, то первая величина будет зависима от третьей. Вследствие этого методы, основанные на оценках «пропорциональной» площади питания и таких же расстояний между деревьями оперируют зависимыми переменными величинами. Они некорректны для расчета силы влияния площади питания как фактора, влияющего на размер и прирост дерева.

Поэтому применяемая в настоящем исследовании методика изучения структуры древостоя будет иметь следующие положения.

1. Наиболее точной независимой переменной величиной при расчетах площади питания дерева следует принять ее значение, определяемое в полигонах, образованных простым делением расстояний между центральным деревом и его ближними 6–10 соседями.

2. Второй независимой переменной для выбранного в качестве модели дерева следует выбрать среднее расстояние до 6–10 соседей.

3. Третьей независимой переменной можно выбрать расстояние до ближнего соседа.

4. Модельные деревья для изучения индивидуальной площади питания выбирают как вблизи окон и прогалин, так и в густых местах древостоя (биогруппах). Эти неравномерности вполне естественны, атрибутивны и должны обязательно учитываться в моделях структуры насаждений.

5. Влияние внутренних фитоценотических факторов, в частности густоты древостоя, на рост отдельных деревьев и на средние таксационные показатели в микро- миди- и макроценозах необходимо рассчитывать с соблюдением стандартных статистических процедур – оценкой достоверности корреляций, различий между ними и средними выборочными значениями и т.д.

При анализе полученных материалов, однако, самым существенным будет акцент не на конкурентных отношениях, а на взаимодействии деревьев. Например, на отношениях партнерства. Такая постановка вопроса требует соответствующей группировки данных и оценки этого явления, например, по корреляции размеров деревьев в соседствующих парах, ранжируя их по размеру (на большее и меньшее). Вполне логично, что если деревья будут коррелировать размерами, то это будут отношения партнерства, а если нет – то это будет конкуренция. Для получения достоверных корреляций, которые, скорее всего, будут слабыми и средними, объем выборок должен быть не менее 30-50 пар деревьев-соседей.

Таким образом, основная идея исследований структуры старых древостоев сосны должна быть двусторонней и включать изучение и конкуренции, и

партнерства. С учетом этих двух задач мы и провели изучение соснового древостоя.

1.8. Кратко об истории интенсивных рубок ухода

В контексте управления структурой древостоев нельзя обойти стороной рубки ухода за лесом, известные ныне под названиями «прореживания» и «проходные рубки».

Идеям ухода за лесом уже около ста лет, и в чистых древостоях из одной породы их теоретической основой является увеличение площади питания у оставляемых деревьев с целью повышения их прироста и суммарного прироста всего древостоя. Их интенсивность в средневозрастных и приспевающих древостоях до 1980 г. не превышала 10–20%, и убирали в основном подчиненную часть древостоя [Георгиевский, 1948, 1957]. Но затем их интенсивность возросла вдвое, и площадь только технологических коридоров (просек шириной 5 м) допускалась уже в 15% от площади лесосеки при интенсивности 25–30% [Правила..., 2007]. Дальше – хуже, и по новым правилам [Правила..., 2017] на технологические коридоры-просеки ныне допускается уже 20% (!) от площади лесосеки. Возникает справедливый вопрос о верификации (проверке) целей, декларируемых такими рубками.

И здесь возникает просто вакуум – такой верификации просто нет. Есть много эмоциональных высказываний о необходимости соблюдения технологии, но нет сводки отдаленных результатов (заметим, что ныне их результаты можно исследовать в массовом порядке по космическим снимкам высокого разрешения, однако желающих проделать такую работу почему то нет). Между тем уже достаточно давно были получены результаты опытных рубок с подобной и даже более высокой интенсивностью [Сеннов, 1984], и эти результаты просто обескуражили ученых-лесоводов. Подводя их итоги после 60 лет наблюдений, было выяснено, что увеличение площади питания дерева в среднем возрасте путем удаления конкурирующих соседей отнюдь не увеличивало прирост деревьев, как это полагалось по теории; далее этот вывод был подтвержден и в одном из учебников [Сеннов, 2005]. Получается, что деревья «не слушаются» лесовода и прирост не увеличивают. Более того, рубки эти попросту изымают будущие запасы спелой древесины.

Знакомство с учебниками и пособиями по лесоводству и лесной таксации [Луганский, Залесов, Теринов и др., 1993; Луганский, Залесов, Щавровский, 1996; Набатов, 2002; Сеннов, 2005; Верхунов, Черных, 2007; Калинин, 2011;

Тихонов, 2011] показало, что авторы, рассматривая теорию рубок ухода, ссылаются на классификацию деревьев немецкого лесовода Крафта, который еще в 1884 г. предложил разделять деревья на 5 классов по степени развития кроны. С некоторыми дополнениями она используется и сейчас [Желдак, Атрохин, 2003]. Основным методом ухода за чистыми одновозрастными древостоями при такой классификации считается «низовой метод», при котором удаляют усыхающие, отставшие в росте и «фаутные» деревья.

При этом авторы учебников, соблюдая традиции еще 19 века, отодвигают время начала регулирования текущей густоты к 30-40-50 годам, так как именно к этому возрасту наступает «дифференциация» деревьев на указанные классы Крафта. В хвойных молодняках такие рубки называют «прочистки», а после 40 лет – «прореживания». Примерно до 1980 г. при таких рубках в массовом порядке заготавливали мелкую деловую древесину (в основном жерди). Но затем спрос на нее упал почти до нуля, и взоры лесников обратились к древесине средней крупности, которую можно было получить только после 40–50 лет. И в правилах рубок ухода это сразу нашло свое отражение – интенсивность рубок увеличили в 2 раза, до 25–30%.

При этом, как ни странно, их теоретическая основа осталась прежней, несмотря на то, что прошло уже более 100 лет после Крафта, появились новые знания о лесе, и нужно было их интегрировать в лесоводство и в соответствующие правила ухода за лесом. Однако этого не произошло.

Так, в перечисленных учебниках нет упоминаний и ссылок на «основную закономерность морфогенеза одноярусных древостоев» Г.С. Разина [Разин, 1979], а также на «ранговый закон роста деревьев» Е.Л. Маслакова [Маслаков, 1981, 1984], известных уже четверть века к моменту выхода этих учебников. Мало того, в них не учитывались знания даже из новейшей практики – плантационного выращивания лесов. Получается, что теория по рубкам ухода в России осталась на уровне 19 века. В результате ныне существуют параллельно два лесоводства – «классическое» и «плантационное». И объединить их теории невозможно. Они разные. В итоге возникает кризис лесоводства как науки.

Почему же это произошло? Рассматривая теоретическую основу рубок ухода, мы обнаружили, что ее можно свести к простой и в чем-то механистической идее: прирост биомассы дерева определяется его площадью питания, и чем она больше, тем выше *должен быть* прирост дерева. Это долженствование, как постулат, много лет казалось настолько очевидным и бесспорным, что не возникало даже мысли проверить его истинность в длительных опытах. Например, в одном опыте изреживать древостои в 10–15

лет, в другом – в 30 лет, в третьем – в 50 лет и затем посмотреть, что получится спустя лет тридцать.

При обзоре литературы [Рогозин, Разин, 2015] мы были удивлены тем, что из множества работ нам встретились работы лишь одного автора [Сеннов, 1984, 1999, 2005], где теория рубок ухода была верифицирована. В его работах было доказано, что увеличение площади питания у дерева в возрасте начиная от 40 лет путем удаления соседствующих деревьев не увеличивает прирост и продуктивность древостоя. Отметим, что опытов, начатых в более молодых древостоях (15–30-летних), у С. Н. Сеннова не было.

Таким образом, казавшаяся логически безупречной идея о повышении продуктивности насаждений рубками ухода в возрасте старше 40 лет не подтвердилась в длительных опытах. Из этого факта следует, что какие-то общие закономерности классическое лесоводство упускает из виду.

Анализируя историю лесоводства, мы обнаружили в чем-то знаковую работу «Рубки ухода за лесом в новом освещении» Г. Р. Эйтингена [1934]. Его идеи в свое время были передовыми и вдохновили поколения лесоводов на применение новых идей в рубках ухода; на нее ссылаются и сейчас.

Суть ее состояла в следующем. На 8 участках культур сосны и ели в возрасте от 15 до 38 лет автор срубил 4 тыс. деревьев и измерил у них все приросты по высоте, более 70 тысяч (!). Это были поистине феноменальные по объему исследования. На каждое дерево была заведена карточка, и по динамике прироста их разделили на 3 типа и 2–4 подтипа (всего 10). В те годы статистика уже была известна, и Г. Р. Эйтинген использовал ее, но анализ точечных диаграмм (полей автокорреляции), как это делается сейчас, тогда еще не применяли. Поэтому выяснение вероятностей формирования деревьев-лидеров из деревцев разного размера было заменено Г. Р. Эйтингеном делением деревьев на некие заранее указанные типы. В конечном счете, результаты такого анализа свелись к тому, что в молодости устойчиво-слабый и устойчиво-сильный прирост имели около 90%, а неустойчивый – около 10% деревьев. Далее автор выяснил, что численность последней группы деревьев с неустойчивым приростом ближе к 40-летнему возрасту почти удваивалась.

На основании такого удвоения числа деревьев с неустойчивым ростом (как сказали бы сейчас, меняющим свои ранги), и описания самых разнообразных типов прироста за 12–35 лет, а также акцента на изменения прироста по высоте от дерева к дереву, автор предложил отказаться «...от консервативных способов рубок ухода, полстолетия господствовавших в лесоводственной литературе,

исходивших из представлений о необходимости огульной вырубки всех отставших в росте деревьев....». Далее он выдвинул положение, что «...всякое дерево, независимо от степени своего развития, может быть назначено в рубку в порядке ухода, и это находится в соответствии с представлением о подвижности положения дерева в ряду остальных деревьев, рост которых *может быть* (курсив наш) улучшен путем вырубки части окружающих деревьев. Практические результаты этого способа рубок приводят к весьма благоприятным результатам, которые достигнуты в лесах, где он применяется под названием датского способа рубок ухода» [Эйтинген, 1934, с. 77].

Мы не случайно выделили курсивом слова *может быть*, так как Г. Р. Эйтинген *не имел* результатов предлагаемых им новых подходов для рубок ухода в России и только предполагал, что они приведут к положительному эффекту. Он предложил их широкое внедрение главным образом потому, что лично побывал в Дании и описал в упомянутой работе их результаты в этой стране, которые проводились там с 15-летнего возраста. Он приводит также описание опытных рубок, заложенных в 1930-е годы в лесах СССР, причем отметим особо, что возраст начала рубок был не 15 лет, как в Дании, а 27–55 лет, т. е. намного позднее. В период Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. большая их часть была утрачена. Однако в Ленинградской области они сохранились, и именно в них проводил свои исследования С. Н. Сеннов.

Как раз на его результаты (Сеннов, 1984, 1999, 2005) мы и ссылаемся в нашей книге, как на *экспериментальные* факты.

1.9. Разрушительность рубок ухода в старых лесах

Данный раздел был написан уже после того, как все другие разделы были закончены и стало понятно, насколько разрушительны могут быть последствия для структуры старых лесов, например, от проходных рубок, которые заканчивают за 20 лет до наступления возраста спелости. Но излагаемые ниже факты автор знал давно, и как раз с них и начались поиски «теоретической справедливости» таких рубок и их ненужности для безответных наших лесов. Особенно досталось сосновым лесам. По «Правилам ухода за лесом», принятым в 1980 г., вполне законно ширина технологических коридоров-волоков для рубок ухода тогда была принята 5.0 м, и занимаемая ими площадь допускалась в 15% площади лесосеки. Незаживающие раны от них в виде широких просек

ныне видны на космоснимках буквально во всех окружающих город Пермь лесах (рис. 1.2, 1.3).

Рис. 1.2. Леса зеленой зоны г. Перми с проходными рубками 1990-х годов в 130-летних сосняках в кв. 34, 35, 42, 43 Нижне-Курьинского лесничества. Спустя 20 лет волока шириной 5–7 м (темные полосы) и погрузочные площадки (светлые пятна) заросли подлеском из березы и ивы. Нижняя половина – территория экологической тропы «Красные горки»

Рис. 1.3. Леса зеленой зоны г. Перми с проходными рубками 1980-х гг. в 90–130-летних ельниках в бывшем кв. 86 Мотовилихинского лесничества (ныне кв. 108). Спустя 30 лет на технологических коридорах-волоках возобновились лиственные породы (более светлая окраска)

Вот что говорят о проходных рубках виднейшие ученые нашей страны. Член-корреспондент РАСХН, заслуженный лесовод России профессор

СПбНИИЛХ И. В. Шутов прямо называет проходные рубки «рубками антиухода» (журнал «Лесное х-во». 2011. № 5). Он считает, что они приводят к ухудшению санитарного состояния древостоев, вызванному резкими изменениями условий роста оставленных деревьев и травмированием многих из них, к распространению корневых и стволовых гнилей к невосполнимому снижению качества древесины, получаемой при заключительной сплошной рубке. Исследования, проведенные через 12–16 лет после проходных рубок на более чем 7 тысячах деревьев в зоне смешанных лесов в Европейской части России показали, что эти рубки увеличили заражение деревьев ели корневой губкой в 3 раза [Битков, 2008]. В отношении санитарных рубок в Пермском крае уже давно получен убедительный вывод о том, что они не дают эффекта, и гибель древостоев после их проведения продолжается; вывод получен при мониторинге ельников Вятско-Камского региона в лесопатологических экспедициях 1996-2000 гг. под руководством Б. И. Ковалева [Ковалев, Феськов, 2002]. Однако в Лесном плане Пермского края на 2008–2017 гг. на эти виды рубок в некоторых лесничествах приходилось до 15% пользования лесом.

Досталось сосновым лесам и вблизи знаменитого курорта «Усть-Качка». Мы их обследовали в 2007 г. и поняли, что для спелых лесов такие рубки разрушительны. Их последствия были следующими.

Здесь в кв. 27 на площади 13.6 га провели проходные рубки с выборкой 20% запаса в 130-летнем насаждении. Недопустимость таких рубок в защитных курортных лесах установила комиссия экологов Пермского госуниверситета (газета «Луч» 2006 г. № 5). На участке прорублены: магистральный волок шириной 7.0 м и длиной 400 м, пасечные волока общей длиной 3413 м и шириной в среднем 5.5 м; разрублены две площадки для погрузки и разделки древесины площадью 0.12 и 0.15 га. Общая вырубленная площадь составила 2.42 га или 17.8% площади, отведенной в рубку, что дает и соответствующую выборку запаса древесины – 89 м^3/га. Еще 15 м^3/га вырублено на пасеках, что составило общую интенсивность рубки около 20%. Спустя 3 года в насаждении имелся старый сухостой 5–7% от наличного запаса (до 20 м^3/га).

По интенсивности рубки (20%) специальная комиссия Росприроднадзора не нашла грубых нарушений Правил ухода за лесом. Однако в центре участка было сокращено расстояние между тремя волоками до 25–30 м и увеличена ширина волока до 7 м. Образовавшиеся просеки-волока покрылись малиной на 80–100% и воспринимаются негативно, труднопроходимы из-за порубочных

остатков и непригодны для отдыха. В результате от уникального по красоте соснового леса осталась узкая полоска в 200 м. Ранее востребованная для рекреации территория имеет ныне резко негативную оценку у отдыхающих.

Весь этот негатив вызван особенностью сферы лесного хозяйства, замкнутой в отчетности на себя, а также отсутствие экологического контроля за лесоустройством и работой лесоводов. В целом это можно назвать отсутствием *технического аудита* за работой лесного ведомства, что приводит к эрозии профессиональной этики у лесоводов и провоцирует их изменять принципам отечественного лесоводства, заложенных еще Г. Ф. Морозовым.

Тем не менее, в Пермском городском лесничестве в 2010-е годы нам все-таки удалось переломить традицию «коммерческих» рубок ухода. Лесоустройством 2008 г. они планировались в лесах г. Перми в объемах до 16 тыс. $м^3$ на площади 200 га ежегодно, с прорубкой волоков шириной 5 м через 40–45 м, причем в лесах до возраста 140 лет (!). Этот возраст, как оказалось, вполне допустим для проходных рубок, так как до условного возраста рубки в городских лесах, принятого равным их естественной спелости в 160 лет, остается еще 1 класс возраста. Такие рубки превратили бы прекрасные сосновые леса вокруг г. Перми (в том числе и тот лес, который будет описан в данной книге), в чересполосицу участков с широкими просеками, усеянными порубочными остатками и непригодных для рекреации.

Только благодаря усилиям экологов ПГНИУ и ПГСХА, а также лесничих Пермского городского лесничества М. В. и А. В. Сретенских, Г. П. Васильевых и начальника Управления по экологии и природопользованию г. Перми Антонины Александровны Галановой удалось предотвратить внедрение разрушительных по своим последствиям рубок «ухода» в городских лесах в годы, последовавшие после проведения в них последнего лесоустройства и передачи лесов Пермскому городскому лесничеству.

В конце книги будет раздел, где мы предложим некоторые рекомендации по рубкам ухода в лесах среднего возраста и в приспевающих насаждениях на основе результатов, полученных нами после изучения наиболее устойчивых насаждений сосны в возрасте старше 180 лет.

Глава 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ

2.1. Поиски участка для детального картирования деревьев

Обследование лесов г. Перми мы проводили в 2014 г. с целью выделения новых особо охраняемых природных территорий [Рогозин, Андреев, 2015]. В результате удалось найти лесные массивы в возрасте 130–180 лет, однако большая их часть оказалась пройдена проходными рубками в 1980–1997 гг., когда в них через 50 м прорубались технологические коридоры-просеки шириной 5 м. Такое нарушение структуры понизило их устойчивость, и они уже не могли быть эталонами.

Без нарушений структуры удалось обнаружить лишь отдельные участки сосновых лесов в Кировском районе. Их несколько. Один находится в 0,7 км на северо-запад от остановки автобуса «Ул. адмирала Ушакова». Второй тянется параллельно р. Кама на расстоянии 1.5 км полосой 600 м до ул. Сысольской. Третий участок находится в кв. 1 бывших лесов завода им. С.М. Кирова, южнее остановки автобуса «ТЭЦ-14». Здесь были обнаружены крупные деревья сосны диаметром до 68 см на площади 2 га, где и начались наши исследования (рис. 2.1).

Древостой оставляет хорошее впечатление; его структура не нарушена, так как при уборке сухостоя и аварийной древесины в лесной даче завода им. С.М. Кирова в 1947–2005 гг. прорубку специальных волоков здесь не практиковали, а пользовались прогалами между деревьями, благодаря вниманию и контролю со стороны лесничего Юрия Васильевича Божья-Воля, проработавшего лесничим с 1950-х годов до 2000 года.

История существования сосны на данной территории связана со сплошной вырубкой этого массива лесов в XIX веке и пережиганием древесины на уголь, необходимый для медеплавильных заводов г. Перми, которые работали тогда на полную мощность и которым требовалось громадное количество угля. К этому времени ближние массивы лесов в районе Верхней Курьи на правом берегу р. Кама напротив Егошихинских заводов (ныне АО «Мотовилихинские заводы») были уже вырублены. Началось освоение лесов более отдаленных, в районе Нижней Курьи и далее, с расстоянием вывозки по санному пути по льду р. Кама до 20–30 км (ныне здесь находится Кировский район г. Перми и ряд крупных заводов).

В этом громадном массиве леса населенных пунктов тогда не было, за исключением д. Оборино. Чистые сосняки занимали здесь площадь около 70 км^2 и располагались полосой 4-7 км на второй надпойменной террасе р. Кама с песчаными отложениями до 7–10 м. После сплошной вырубки они очень хорошо восстановились практически везде и сейчас имеют возраст 150–190 лет. Значительная их часть сохранилась, примыкает к жилой застройке и востребована для рекреации.

Более ранние рубки леса в XVIII веке здесь проводили, но только выборочные. Ровная территория и сухие почвы позволяли проводить вывозку древесины конной тягой на большие расстояния и зимой, и летом. Брали исключительно деловой лес для строительства, а также ремонта речных судов – небольших барок, а затем и более крупных барж и пароходов. Для их зимовки здесь в районе Нижней Курьи на р. Каме имелись очень благоприятные условия в виде множества заливов, которые назывались «курьями». Ныне в этом месте расположен Пермский судостроительный завод «Кама» и микрорайон «Судозавод».

Последние сплошные рубки этих лесов приходятся на 1930-е годы в период строительства Пермского машиностроительного завода имени С. М. Кирова. Завод производил взрывчатые вещества, затем твердотопливные ракетные двигатели, в послевоенное время началось производство полимерных материалов (ныне ФКП «Пермский пороховой завод»). Заводу были переданы леса на площади свыше 40 км^2. Фактически они представляли собой почти половину меандры р. Кама, включая заболоченные леса в ее западной части. Сплошные рубки здесь закончились в 1943 г., так как эти леса по известному постановлению Правительства СССР были отнесены к водоохранным.

Выбранный участок, как лес-эталон, используется нами для практики студентов с 2014 г. Более 700 деревьев здесь нанесены на план и пронумерованы, территория разбита на секторы-клетки со стороной 20 м. Проведена съемка территории с помощью буссоли, с нанесением на план квартальной просеки к западу и железной дороги к востоку от участка, а также малозаметных ныне старых лесных дорог.

Участок привязан к опознаваемым на космоснимке точкам. Линейная невязка полигона с периметром 862 м составила 1.2 м (0.14%). После повторных промеров и корректировки она сократилась до 0.35 м и ее разбросали по пикетам (рис. 2.2).

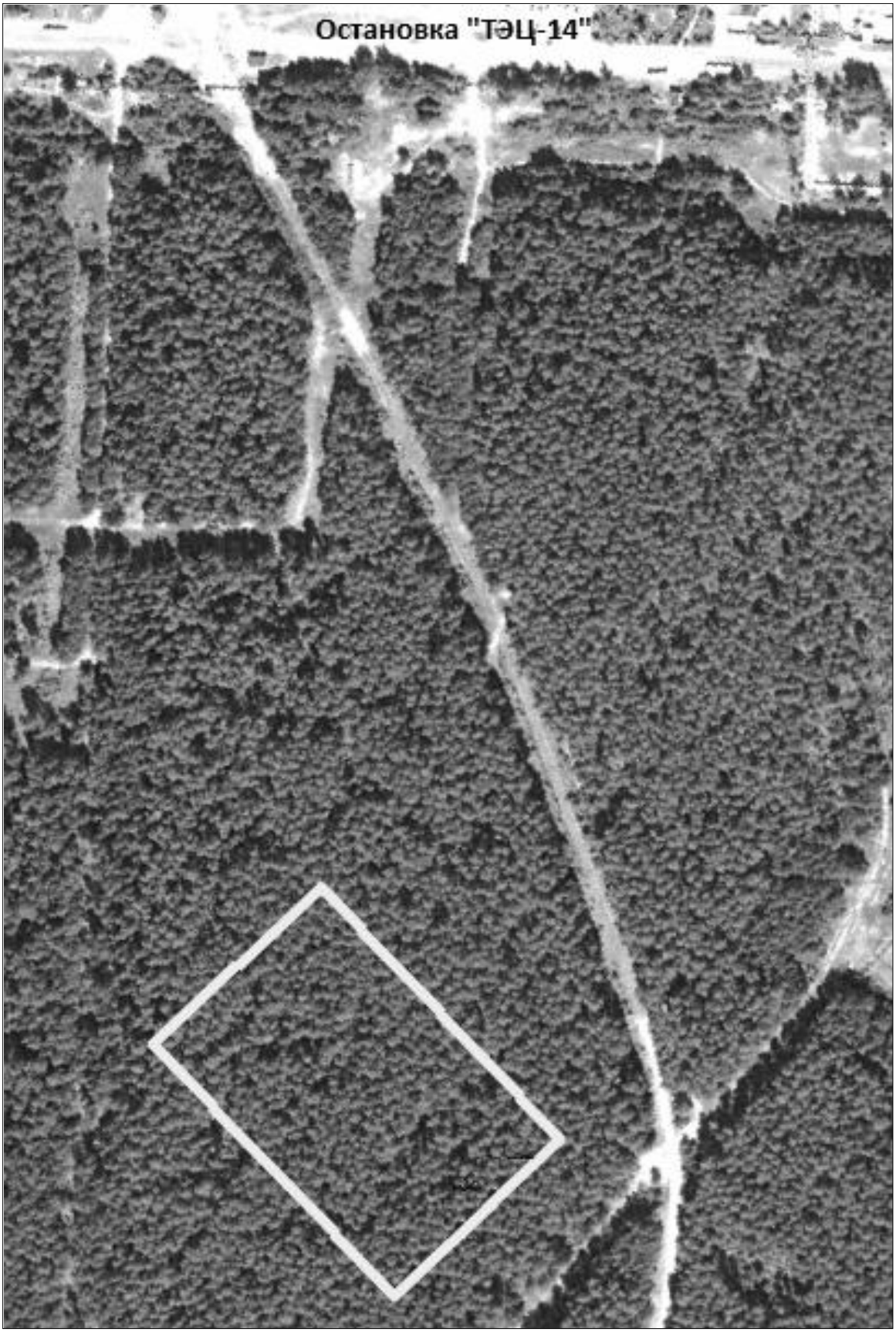


Рис. 2.1. Расположение участка старого соснового леса в Пермском городском лесничестве, кв. 61 Нижне-Курьинского участкового лесничества (бывший кв. 1 лесной дачи завода им. С.М. Кирова)

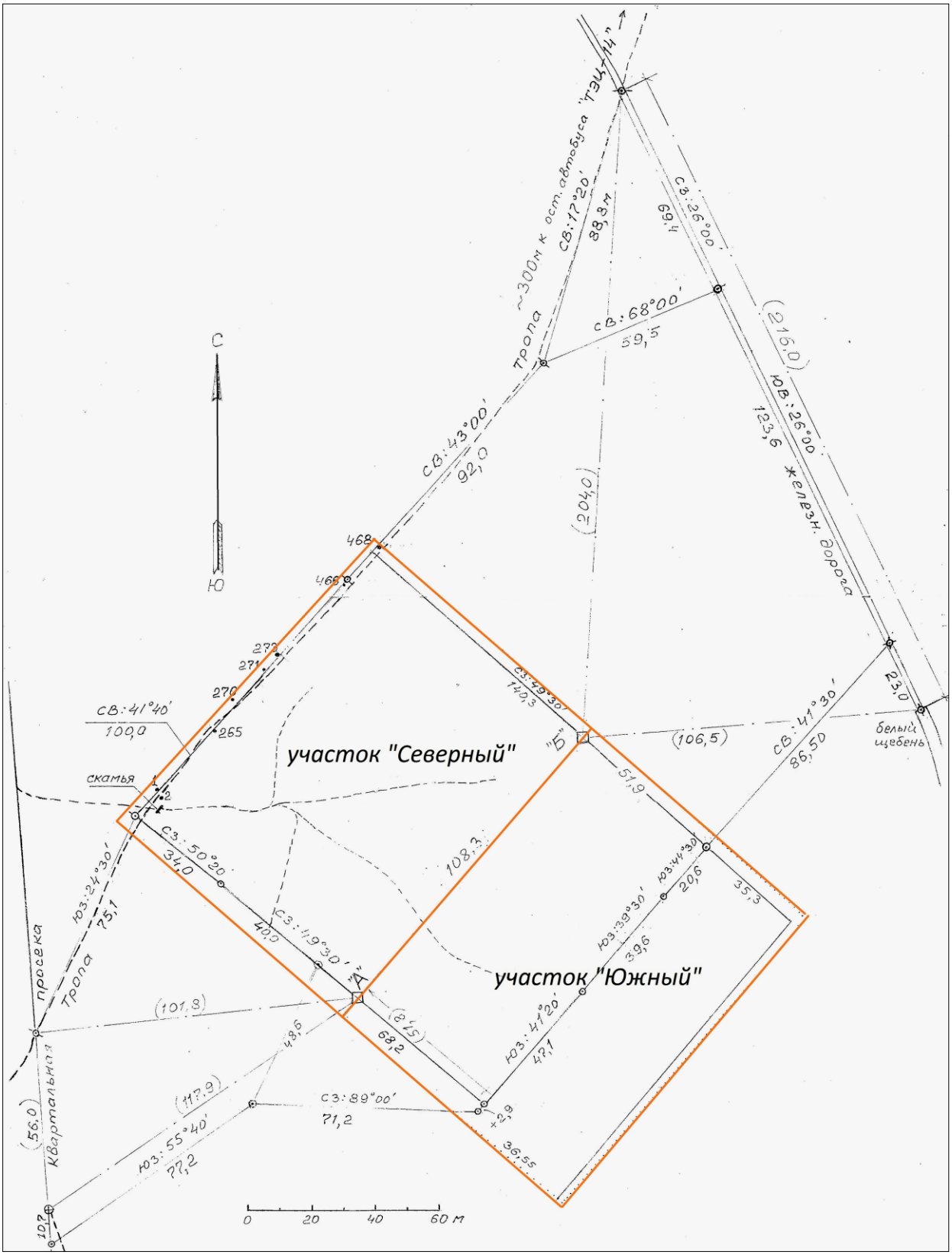


Рис. 2.2. Привязка массива сосны к опознаваемым на космоснимке точкам

На участок можно попасть по широкой тропе, идущей от остановки автобуса «ТЭЦ-14» на юго-запад к коллективным садам (0.5 км). Тропой ежедневно пользуется до 40, а летом до 200 человек. После перехода через железную дорогу до участка остается 160 м (см. рис. 2.2).

Изучаемый участок примыкает к тропе, и она является его естественной границей. От тропы идут два визира, проложенные параллельно границам участка: северо-восточный длиной 175.6 м и юго-западный длиной 178.8 м. Они, как и внутренние визиры, служили опорными линиями для нанесения ситуации на план на расстоянии до 5–7 м от них. Поэтому ширина участка оказалась больше, чем расстояние между ними и составила от 120 до 122.15 м. Несмотря на близость к тропе, лес посещается мало, так как ягод и грибов здесь практически нет.

Территория участка была разделена на две равные части, которые были названы как участок «Северный» площадью 1.108 га и участок «Южный» площадью 1.109 га Граница между ними определилась после съемки всей территории и преследовала цель разместить участок на двух листах формата А0 в масштабе 1:100. Граница идет по пологой песчаной дюне, с понижением к северному углу участка примерно на 3.0 м и к юго-восточной границе на 1.5–2.0 м.

На участке «Северный» в напочвенном покрове в кустарничковом ярусе доминировала черника (до 90-95%) и доля брусники не превышала 10%. В целом участок можно отнести к типу условий местопроизрастания $Б_2$ и типу леса сосняк кисличниковый.

В южной части условия несколько суше и доля брусники повышена до 20-30%. Вначале южную часть не планировали для изучения, так как 14 лет назад там полосой прошел ветровал, и вывалило 28 деревьев. Однако он затронул и северную часть, где были вывалены и сломаны почти столько же деревьев (27 шт.), но более равномерно. Для их вывозки как раз и были задействованы старые лесные дороги и проложены новые, показанные на рисунке пунктиром (см. рис. 2.2).

Поэтому после недолгих колебаний было решено ветровал в южной части включить в изучаемую территорию и в итоге представить оба участка как единое целое. На участке «Южный» вместе с ветровальными число деревьев оказалось 28+376=404 шт., т.е. ветер повредил 6.9% деревьев.

На участке «Северный» ветровал повалил и сломал 27 деревьев (7.5%). Все ветровальные деревья были аккуратно убраны без прорубки волоков колесными тракторами в год повреждения (рис. 2.3).

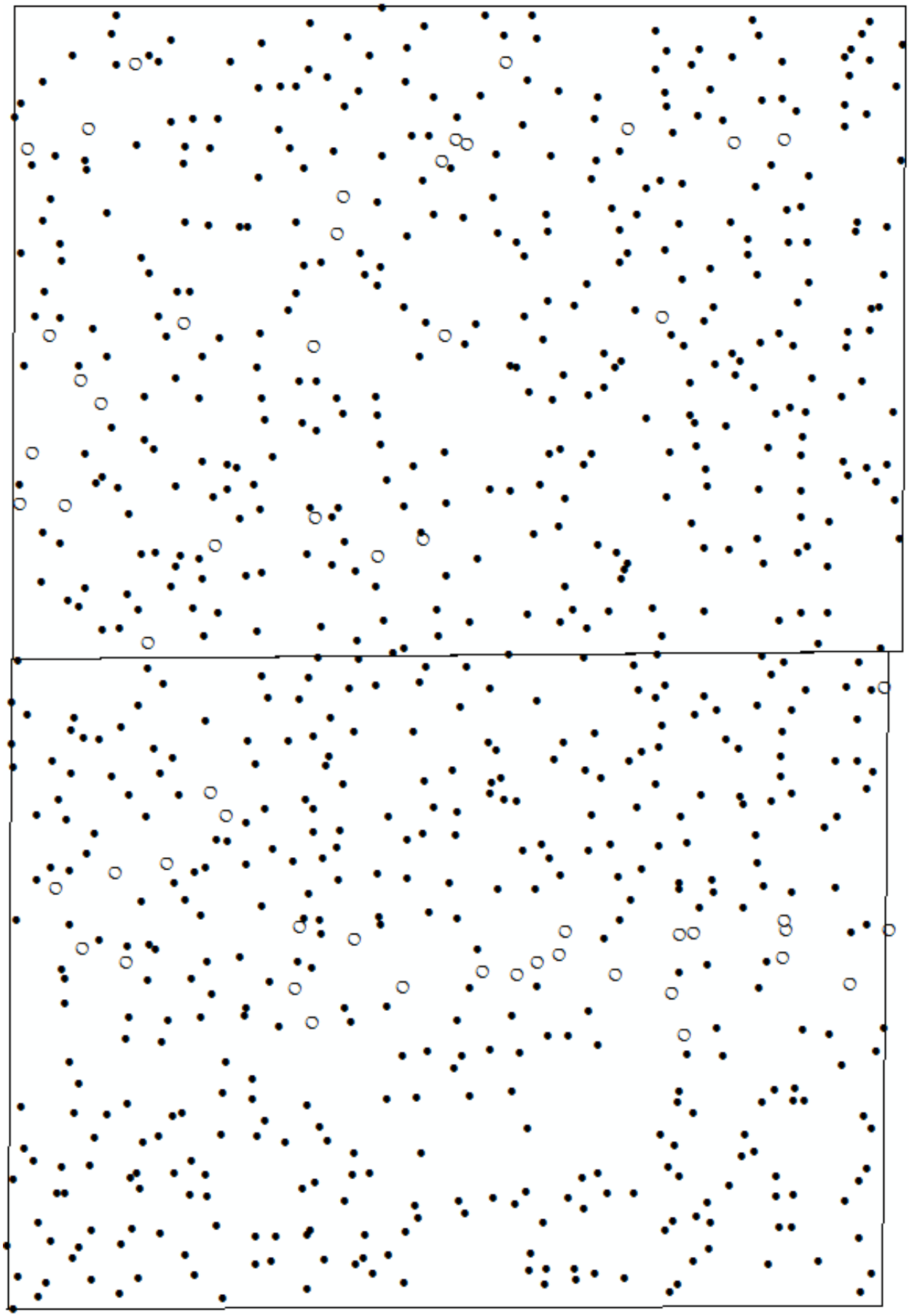


Рис. 2.3. Живые и ветровальные (пустые овалы) деревья в массиве сосны площадью 2.2 га. Средняя ширина массива 121.5 м, длина 182 м

На этой территории в 19 веке выжигали уголь и здесь повсеместно встречаются следы этой работы – оплывшие ямы от землянок, а также небольшие ямы группами по 3–4 шт. вокруг мест углежжения (рис. 2.4).

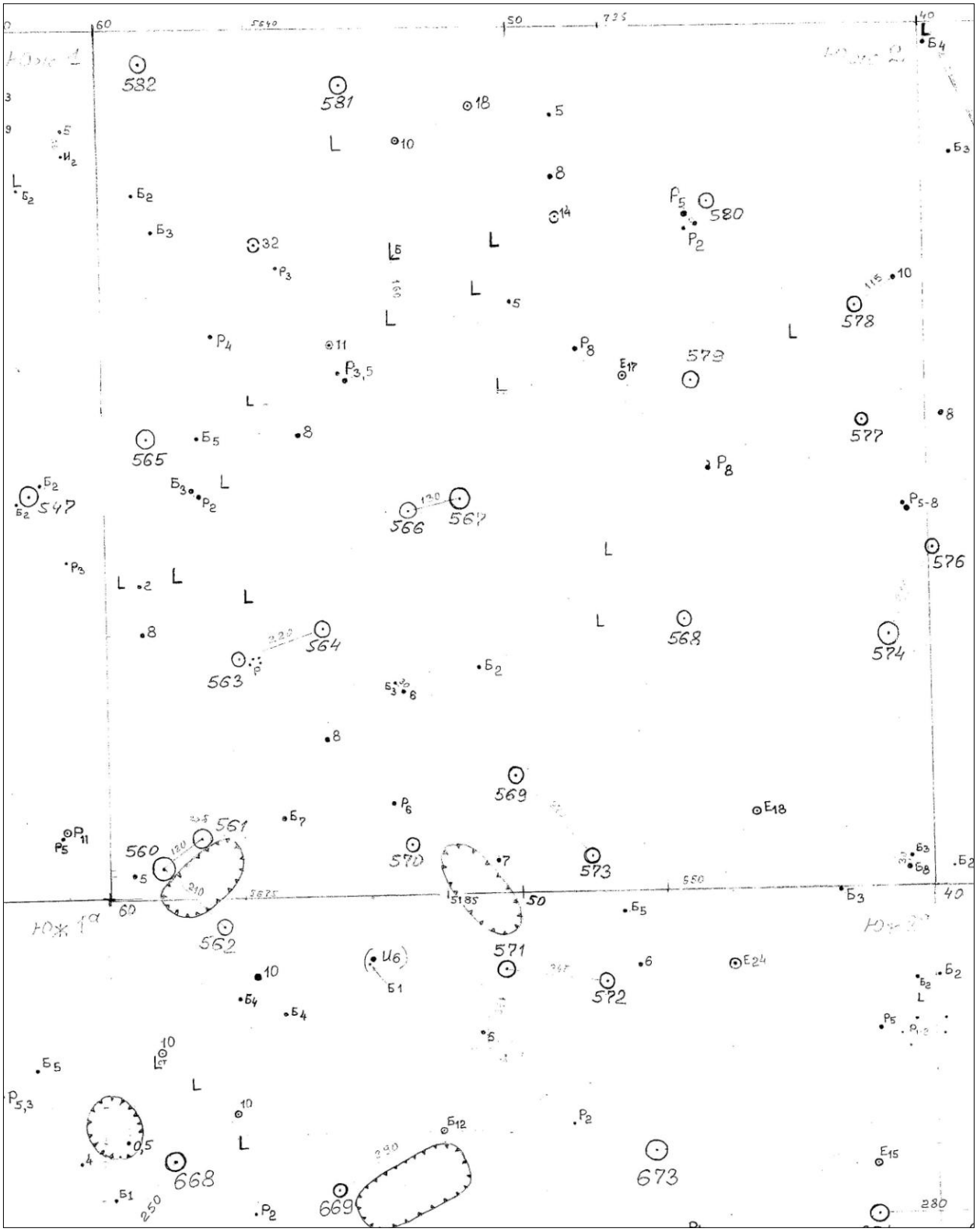


Рис. 2.4. Часть плана участка с «клеткой» из визиров размером 20×20 м, необходимых для нанесения ситуации

2.2. Нанесение ситуации на абрис и план

Для нанесения на план деревьев, пней, подроста, подлеска и другой ситуации были проложены дополнительные визиры через 20 м, образующие сеть из «клеток» 20×20 м. Использовали сразу четыре мерных ленты и одну рулетку. Нанесение ситуации на абрис включало следующие операции:

1. На южной стороне «клетки» протягивали и закрепляли мерную ленту.
2. То же делали на северной стороне.
3. То же делали на западной стороне.
4. В 3–5 м от одной из сторон «клетки» и примерно параллельно ей, используя просветы между деревьями, протягивали и закрепляли четвертую мерную ленту и использовали ее как временный визир.
5. Используя мерные ленты как линии на местности, таксатор шел вдоль них и делал прямоугольные засечки, определяя рулеткой расстояния до центров оснований стволов, подроста, пней и другой ситуации. Ситуацию наносили на абрис слева, а затем справа от ленты, захватывая примерно половину полосы между лентами. Расстояние определяли с округлением до ±1.0 см.

После переноса ситуации с абриса на план в масштабе 1:100 при необходимости проводили перекрестную проверку расстояний на следующий день, исправляя неточности. Иногда старые пни пропускались, в особенности летом, когда их не было видно среди травы. Осенью места таких разложившихся пней определялись лучше, и они дополнительно наносились на план. При глазомерных угловых засечках и определении расстояния до объектов рулеткой точность их нанесения на план составила ±10–35 см. Такая точность картирования внутренней ситуации была определена после нанесения всей ситуации на план и распределения общей невязки замкнутого полигона. Основные визиры у границ участка были нанесены с итоговой невязкой 0.35 м, что при расстояниях между ними порядка 100–170 м обеспечивало точность ±0.2–0.4%.

За день работы при подготовленных визирах один человек с помощью 3–4 мерных лент наносил на абрис до 120 объектов – деревья сосны, пни, ямы, подрост ели, подлесок березы, рябины, ивы, осины и т.д. на площади 300–400 м^2. Пример полевого абриса в результате одного дня работы показан на рисунке (рис. 2.5).

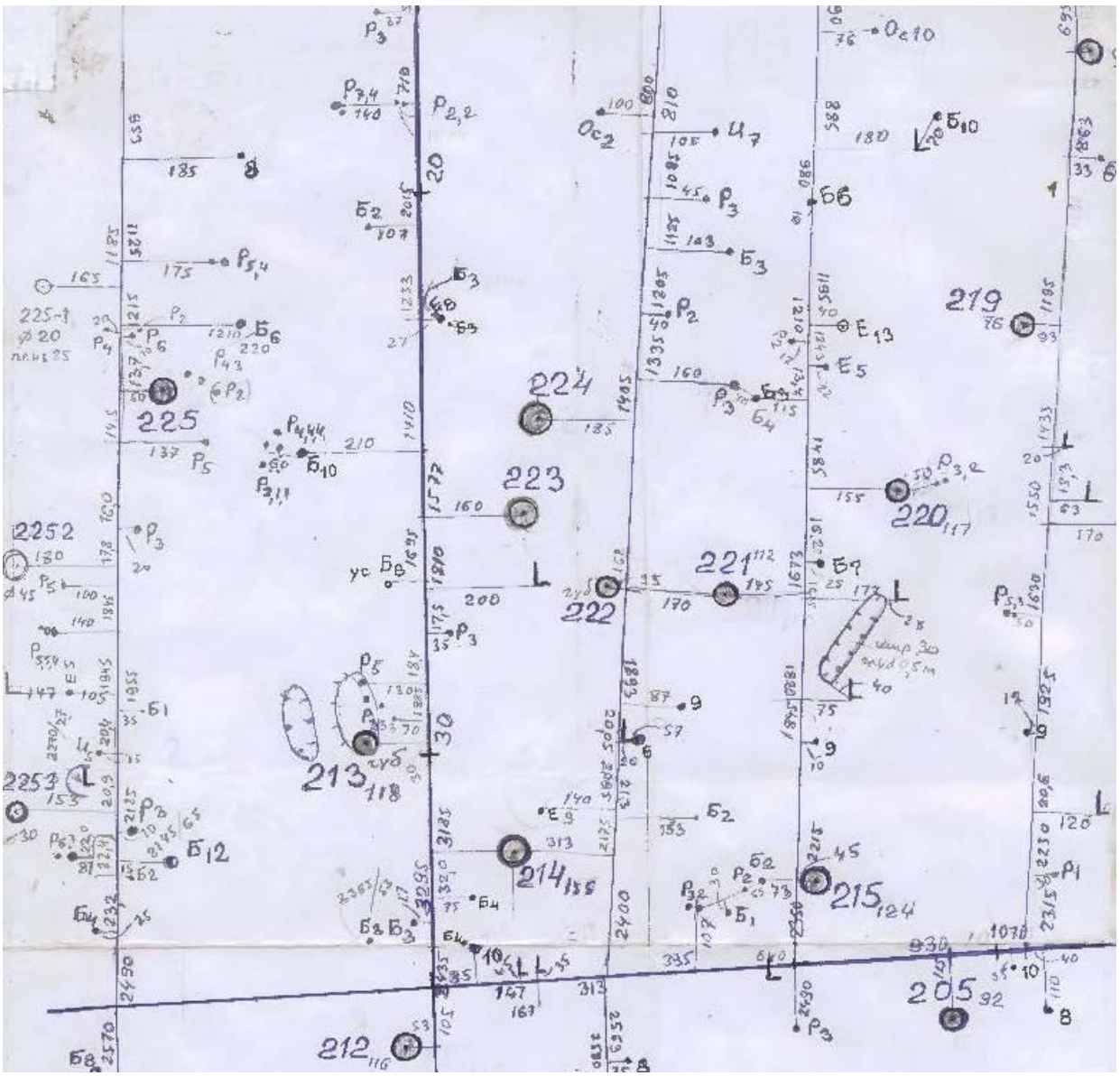


Рис. 2.5. Абрис с угловыми засечками от временных и постоянных визиров, деревья с указанием номера и окружности ствола, подлесок и подрост с указанием породы и диаметра, пни, ямы, бугры, и т.д.

2.3. Методика измерений диаметра и высоты деревьев

Диаметры деревьев определяли расчетным методом через окружность ствола. Но вначале все деревья нумеровали и наносили на план. Для этого на деревьях на высоте 1.4 м от поверхности земли подрумянивали кору ножом и белой краской наносили номер с высотой шрифта 3 см. После этого деревья наносили на абрис, используя прямоугольные засечки расстояний к визирам. После составления абриса или чистового плана их брали с собой и на них, рядом с номером дерева, записывали длину окружности его ствола с

округлением до 0.5 см (см. рис. 2.5). Перед измерением кору очищали от отслаивающихся чешуек и делали отметку на высоте 1.3 м от поверхности земли. Диаметр дерева определяли с округлением до ± 0.1 см расчетным путем уже в камеральных условиях.

Высоту дерева измеряют обычно с одной позиции, но при высотах более 30 м это представляет известные трудности, вызванные наклоном ствола. Так, при измерениях самых высоких (42.7 м) в Пермском крае деревьев лиственницы и сосны оказалось, что их высоты с разных направлений различались иногда на 4.4 м (на 10.6 %), и поэтому методика работ с высотомером «Hanlof» (Швеция) включала следующие операции (Рогозин, 2014):

– в направлении на север от дерева находили место, где хорошо была видна его вершина;

– протягивали мерную ленту и укрепляли ее перпендикулярно линии визирования сбоку от дерева, между корневыми лапами и фиксировали нулевую отметку ленты напротив центра основания ствола;

– натягивали ленту и на расстоянии примерно 25–35 м делали на почве отметку для измерения высоты;

– включали высотомер и устанавливали на нем дистанцию (на экране высотомера высвечивалась надпись «DIST» и шкала);

– нажимали на штифт высотомера и визировали на уровень глаз помощника, стоящего рядом с деревом (на экране высотомера высвечивалась надпись «%»), то есть фиксировали уклон местности;

– переключали штифт высотомера на измерение высоты (высвечивалась надпись «HGT») и визировали на вершину дерева – высота при этом определялась без высоты (роста) самого оператора, при этом на штифт нажимали несколько раз, записывали высоты и рассчитывали среднее;

– повторяли операции еще 3 раза со стороны остальных частей света;

– в камеральных условиях из четырех измерений высот рассчитывали среднее и прибавляли к нему высоту (рост) оператора.

Техническая ошибка измерения зависела от колебаний прибора в руках оператора и при работе «с руки» разночтения обычно не превышали ±0.2–0.3 м. Дистанции измерений колебались от 24 до 40 м, так как при меньших расстояниях вершина перекрывались ветвями кроны самого дерева.

Такая методика оказалась наиболее точна и использовалась для определения высот самых крупных деревьев, а также имеющих сложный наклон ствола. Средние и тонкие деревья измеряли обычно с двух направлений. Для этого таксатор подходил к основанию дерева и определял, куда дерево имеет наклон, и перпендикулярно ему закладывал базовое расстояние для работы с высотомером, например, на северо-восток. Затем высота определялась с противоположного направления (с юго-запада). Если высоты различалась на 2.5 м и более, то проводили третье, а иногда и четвертое измерения с других направлений; три-четыре направления использовали также при особо выдающихся высотах более 34 м.

2.4. Градуировка взаимодействия между деревьями

Расстояние между деревьями в насаждении колебалось от 0.84 до 16.0 м и для изучения элементов структуры древостоя в камеральных условиях наносили на план цепочки взаимодействий между деревьями, соединяя их линиями. При средней густоте деревьев в данном массиве сосны 334 шт./га (о густоте по пробным площадям будет разговор в следующей главе) площадь питания одного дерева составила 29.93 м^2, и квадратный корень из этой величины дает некоторое «теоретическое» среднее расстояние между деревьями (Lср), равное 5.47 м, которое использовали как ориентир для градуировки взаимодействий между деревьями. Были приняты 6 уровней взаимодействия и градаций конкуренции, по которым составили 5 слоев (шейп-файлов) карты (табл. 2.1).

Роль цепочек взаимодействия в том, что при расстоянии L между деревьями конкуренция оказывалась тем сильнее, чем меньше было это расстояние, а ее уровень отражает отношение $(Lср / L)^2$, показанное в таблице. Это позволило далее понять, как выстраивается структура фитоценоза. Суть такой модели структуры понятна: при большем расстоянии конкуренция слабая, а при малом она усиливается, причем «работает» квадрат расстояния (площадь), т.е. при расстояниях между деревьями, например, 7 и 5 м меньшее приводит к усилению конкуренции в 2 раза ($7^2 / 5^2 \approx 2.0$).

Таблица 2.1. Градуировка взаимодействия (конкуренции) деревьев, при среднем расстоянии между ними в древостое *Lcp* = 5.47 м

Расстояние *L* , м		Интер-вал, м	Отношение *Lcp / L*			*(Lcp / L)* ^{2}	Уровень взаимо-действия	Градации конкуренции	Слой карты
min	max		min	max	сред-нее				
0,80	1,70	0,9	6,8	3,2	5,0	25,3	17,80	очень высокая	Слой 1 «биогруппы»
1,71	2,70	1,0	3,2	2,0	2,6	6,8	4,81	высокая	
2,71	3,70	1,0	2,0	1,5	1,7	3,1	2,15	повышенная	Слой 2
3,71	6,00	2,3	1,5	0,9	1,2	1,4	1,00	средняя	Слой 3
6,01	8,75	2,7	0,9	0,6	0,8	0,6	0,41	пониженная	Слой 4
8,76	16,0	7,2	0,6	0,3	0,5	0,2	0,16	низкая	Слой 5 «прогалины»

Т.е. для разбиения размаха расстояния между деревьями на градации было взято не деление на какой-то заданный интервал, а как ориентир для деления использовали теоретически среднее расстояние между деревьями, равное 5.47 м. Половина (½ часть) от него с округлением равна 2.70 м, и это расстояние было принято как ограничивающее деревьев-соседей в «биогруппах», т. е. категории деревьев с наиболее высоким взаимодействием. Это был первый слой карты, и он оказался близок к параметрам выделения биогрупп в литературе, где расстояния между деревьями принимали 0.50–1.50 м для плотных и 1.51–2.50 м для обычных биогрупп [Ипатов, Тархова, 1975; Марченко, Брайко, 1985; Марченко И.С., Марченко С.И., 1998].

Следующие слои карты отражали повышенную, среднюю, пониженную и низкую конкуренцию. В результате использования отношения (Lcp / L)2 слои карты показывали уровни взаимодействия деревьев, начиная от его повышения в биогруппах в 4.81–17.8 раза и его снижения до 0.16 в прогалинах по отношению к среднему уровню $(Lcp / L)^2$ = 1.4, принятому за 1.0 и полученному на расстояниях 3.71–6.0 м, куда входило и «теоретически среднее» расстояние между деревьями, равное 5.47 м (см. табл. 2.1).

В качестве примера приводим фотографию двух биогрупп с деревьями под номерами 468–471 (рис. 2.8).

Рис. 2.8. Биогруппы на границе участка «Северный». Средние и крупные деревья, высокое взаимодействие между деревьями

2.5. Первичный анализ картирования деревьев

Градуировка взаимодействия между соседствующими парами деревьев от очень высокого до очень низкого позволило нам представить картину структуры древостоя в виде пяти слоев карты.

Проведем первое знакомство с ними и покажем их, последовательно подгружая слои один к другому и усложняя картину структуры, начиная от совсем небольшого числа связей на слое карты, где показаны только биогруппы и заканчивая сеткой связей, где некоторые деревья имеют до 5-7 связей.

Низкие и очень низкие взаимодействия с расстояниями между деревьями более 875 см на карте не отмечались, и поэтому такие места выглядят как прогалины. В итоге образуется неповторимая мозаика из цепочек взаимодействия между деревьями, включая даже что-то похожее на спирали (рис. 2.9–2.12).

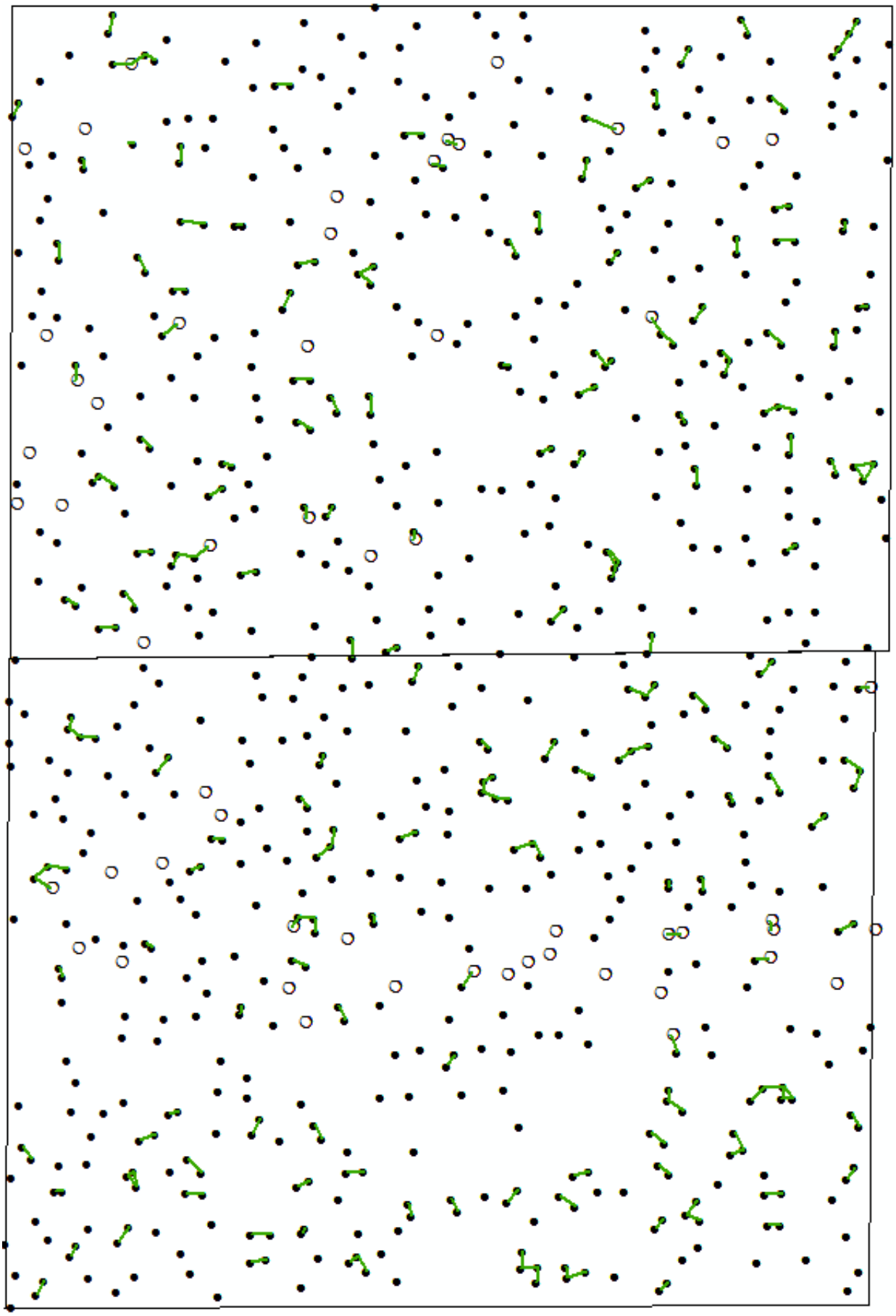


Рис. 2.9. Взаимодействие высокое (биогруппы);
ветровальные деревья обозначены пустыми овалами

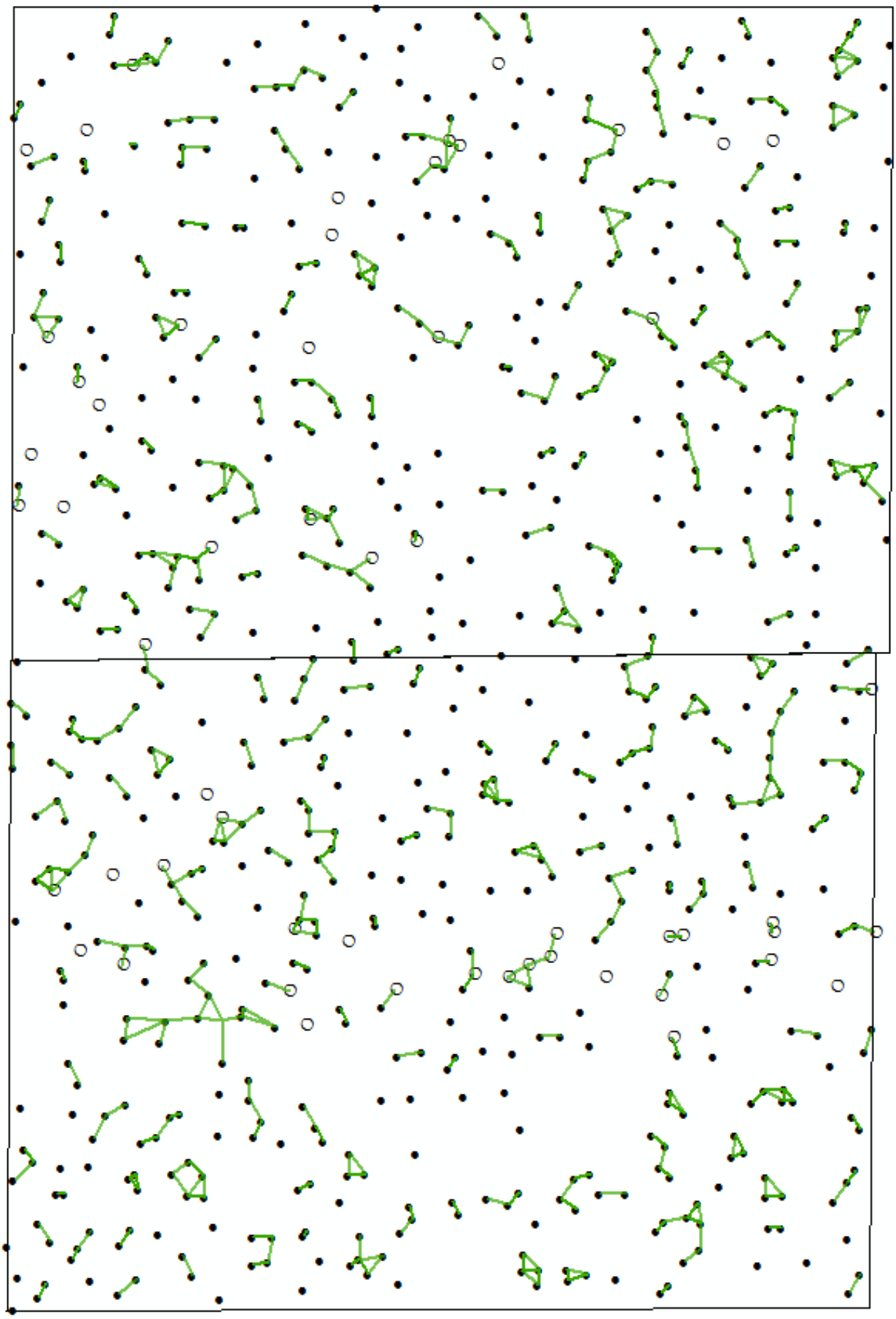


Рис. 2.10. Взаимодействие высокое и выше среднего

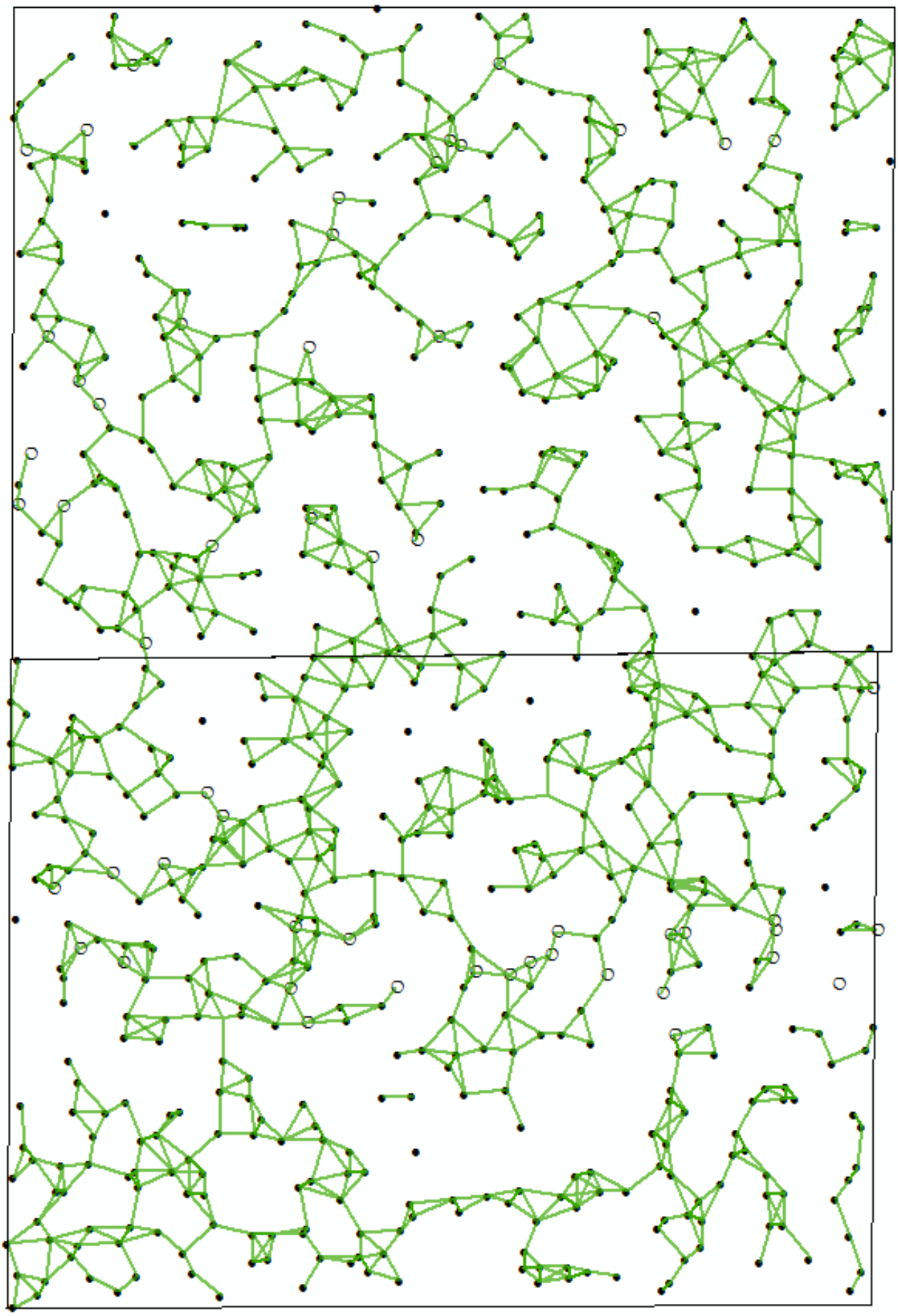


Рис. 2.11. Взаимодействие от высокого до среднего уровня

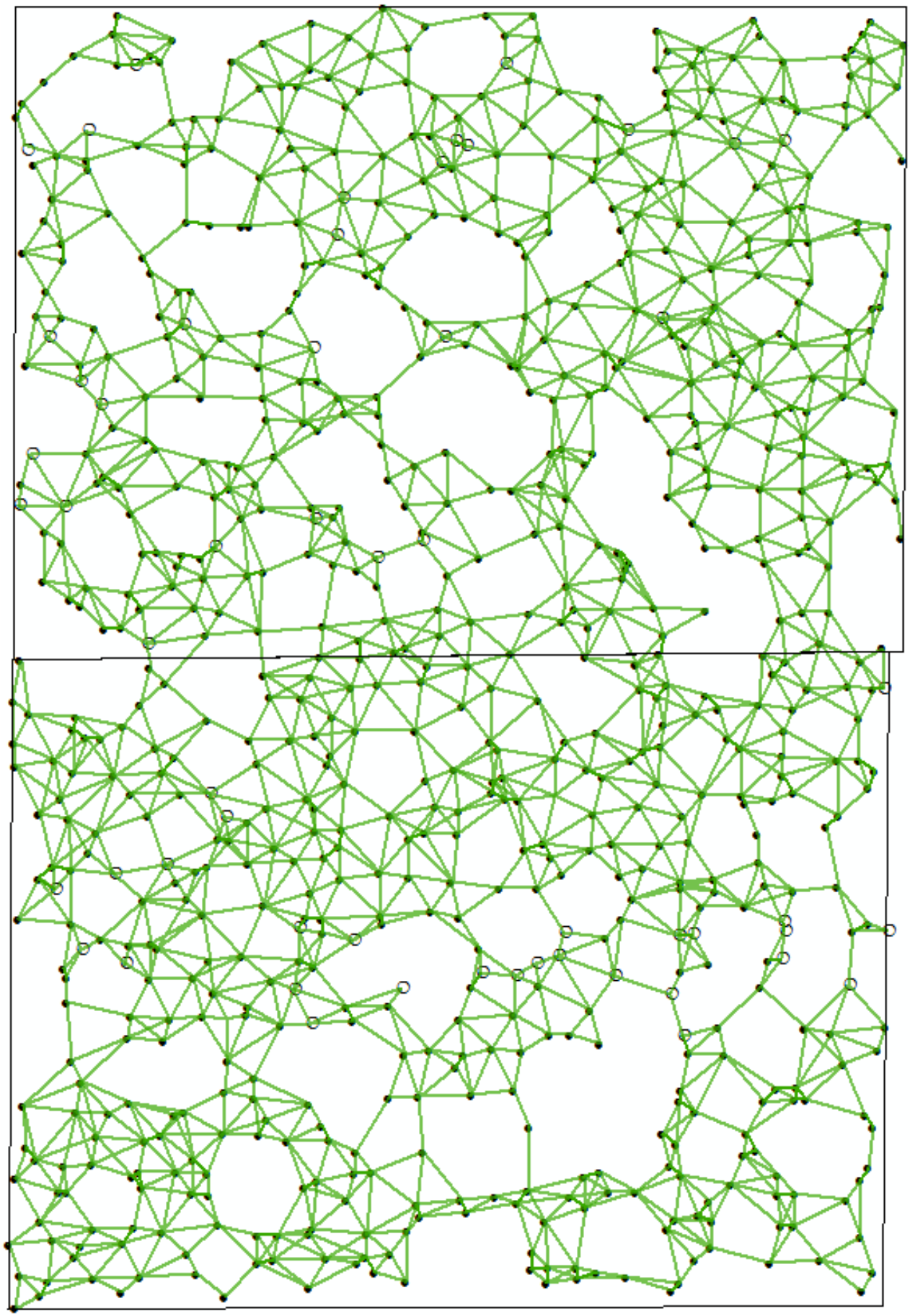


Рис. 2.12. Все четыре уровня взаимодействия между деревьями сосны,
от высокого до пониженного

В этой картине структуры наблюдается примерно до 30% «пустых» мест в виде небольших прогалин. По каким-то причинам сосна там не сохранилась, и на каждой прогалине теоретически можно разместить от 1 до 5 деревьев и более. В этих прогалинах расстояния между деревьями оказываются намного больше и достигают 16.0 м (слабая и практически исчезающая конкуренция). В сравнении со средним расстояниям между деревьями (3.71–6.00 м) ослабление конкуренции в прогалинах достигает 6 раз, если считать ее через квадрат среднего расстояния между деревьями (см. табл. 2.1).

Напомним, что относительная полнота древостоя сосны здесь составляет 0.91–0.95, а с учетом вываленных ветровалом деревьев она достигала бы 1.01. Полнота – важнейший показатель. Он говорит о том, насколько заполнено жизненное пространство (экологическая ниша) относительно нормы, принятой за 1.0. Норма эта была взята из стандартных таблиц полноты и запаса для насаждений сосны Пермского края, используемых с 1977 г. и показавших свою высокую адекватность [Основные положения…, 1977], которые приведены в приложениях к настоящей монографии (прил. 1).

Следовательно, если полнота яруса древостоя близка к 1.0, что здесь и наблюдается, то экологическая ниша первого яруса заполнена почти до предела. Но если при этом присутствует и много прогалин, то это подводит нас к мысли о том, что и в других сосняках, взятых в качестве стандарта полноты, прогалины также имели место и присутствовали как вполне обычное явление. Из этого следует, что окна и прогалины можно считать точно таким же *атрибутом насаждения*, как и биогруппы, о которых лесоводам давно известно [Логвинов, 1951; Ипатов, Тархова, 1975; Сеннов, 2005 и др.]. Однако только в конце 20 века появились некоторые гипотезы, объясняющие причины их появления [Марченко, 1974, 1995], а также показан сложный биологический механизм их образования [Горячев, 1999].

Отметим, что такие «пустые» места мы обследовали особенно тщательно. Ниже мы приводим рисунки, где последовательно добавлены еще некоторые слои карты: еловый ярус (ель с диаметром от 20 см) и отпавшие за последние примерно 60 лет деревья (рис. 2.13–2.15).

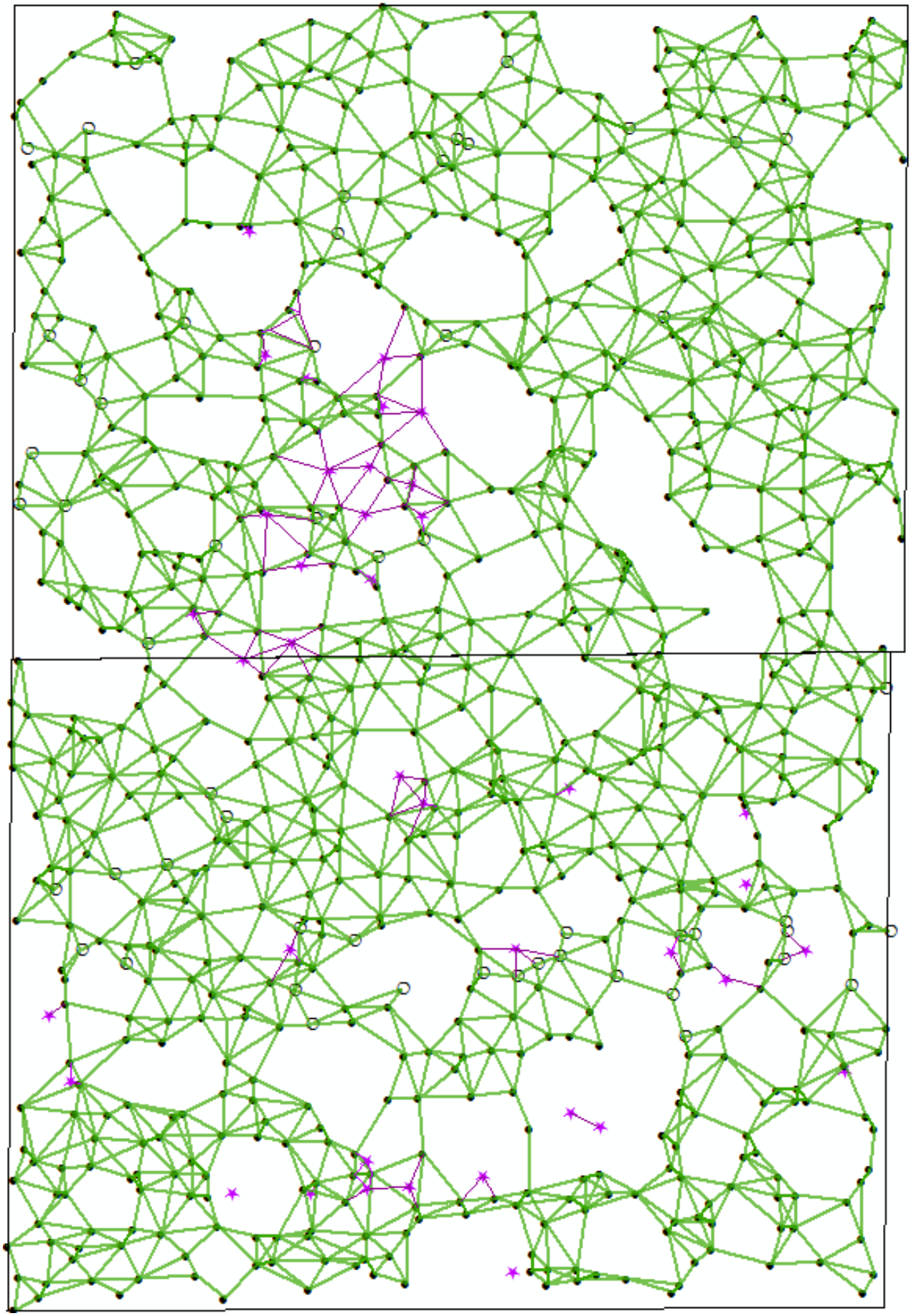


Рис. 2.13. Добавление второго яруса из деревьев ели диаметром более 20 см и ее связи с сосной (фиолетовые звездочки и линии)

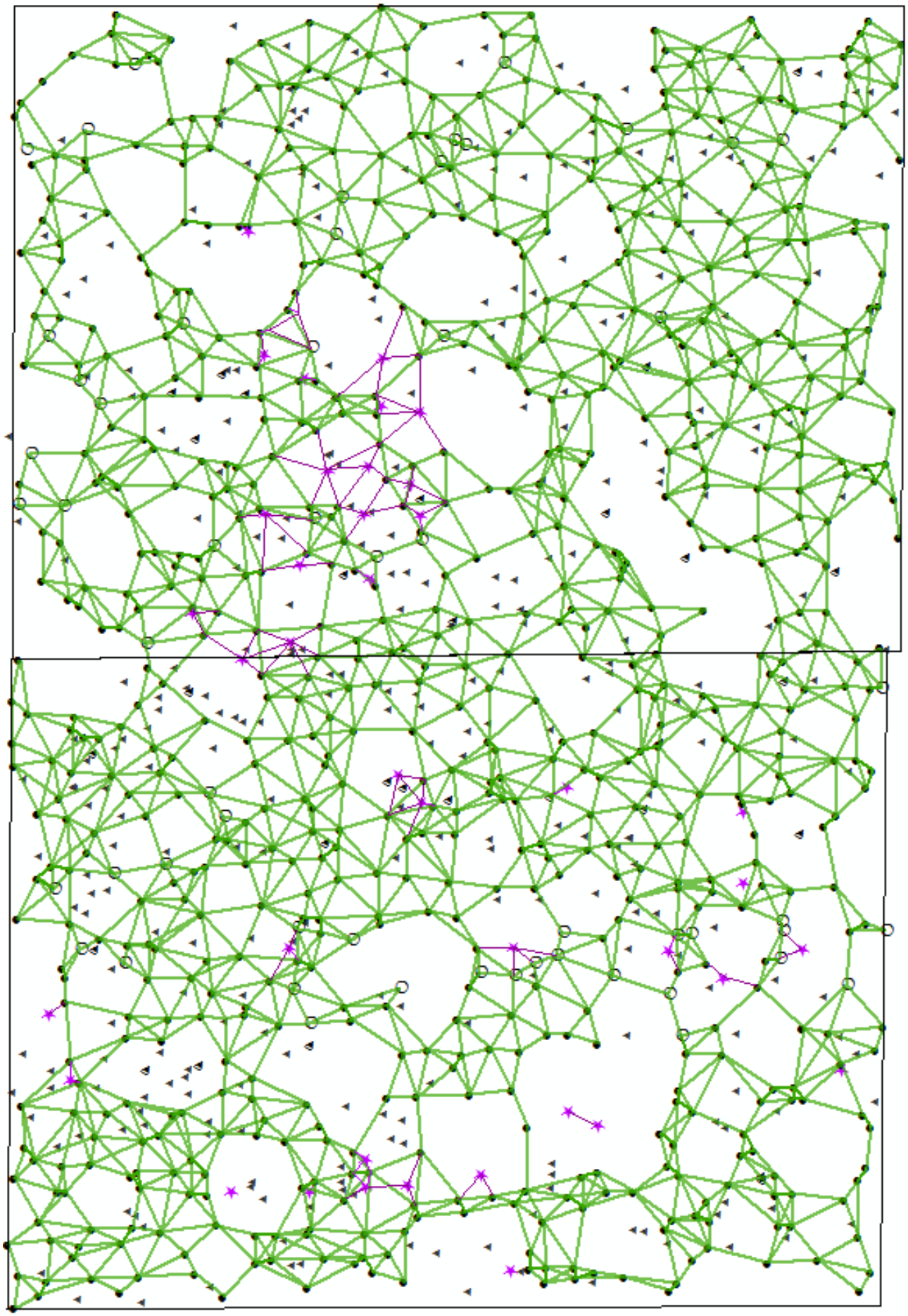


Рис. 2.14. Добавление отпавших деревьев сосны (треугольные точки без связей)

2.7. Первичный анализ структуры, санитарное состояние

Для первичного анализа структуры мы выбрали участок «Южный», где было меньше подроста и подлеска.

Полагая, что пни от погибших и затем вырубленных деревьев сосны разлагаются примерно за 50–60 лет, можно восстановить число деревьев в возрасте около 120 лет, учитывая их вместе с живыми и отпавшие деревья.

О густоте сейчас и 60 лет назад будет особый разговор далее, а пока рассмотрим прогалины и некоторые причины отмирания деревьев. Для этого оконтурим обнаруженные прогалины (рис. 2.15).

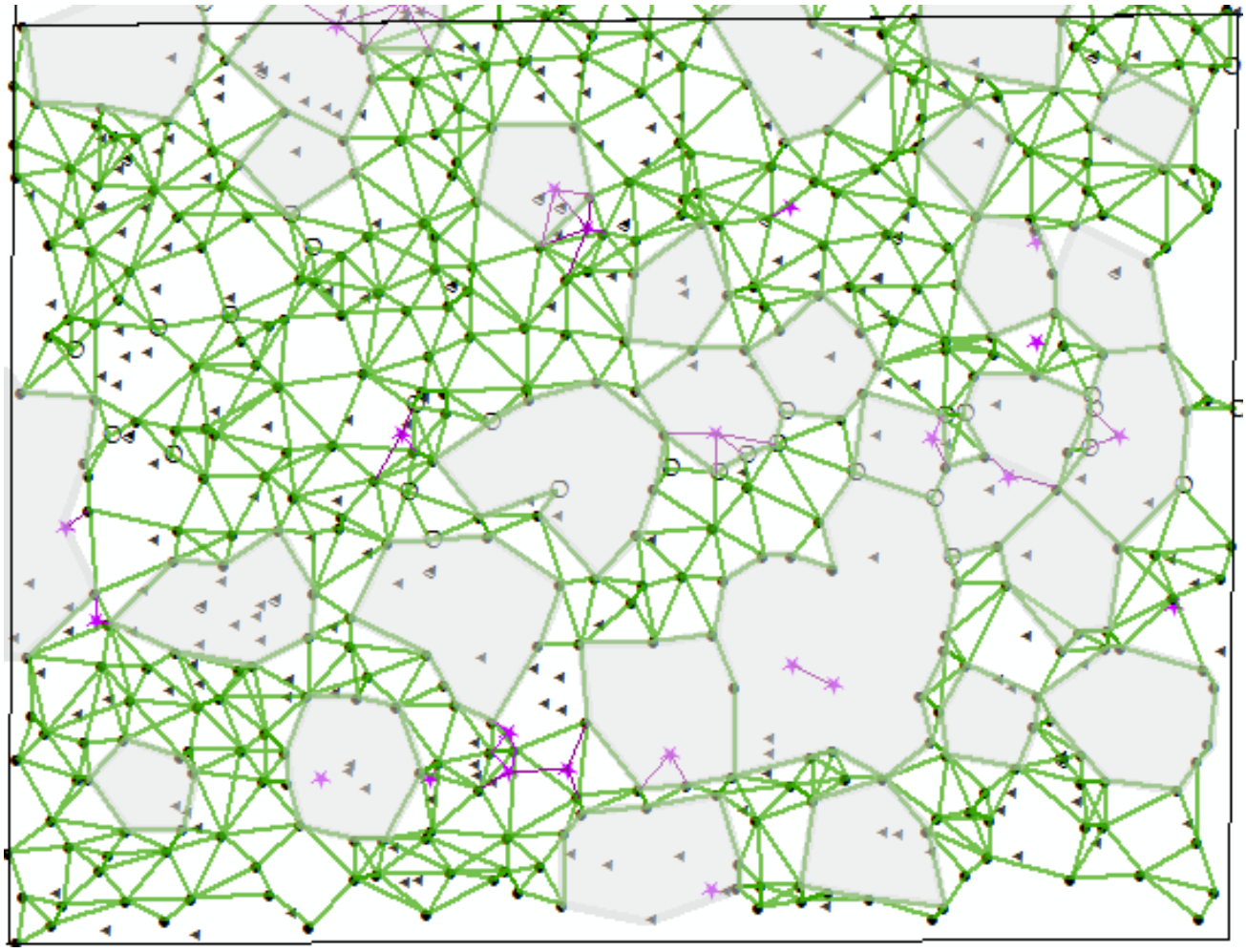


Рис.2.15. Прогалины на участке «Южный», оконтуренные по стволам деревьев

На них росли когда-то ныне отпавшие деревья, но они находились в основном по краям и лишь на малой части прогалин. Следовательно, можно полагать, что сосна такие места по каким-то причинам «не любит», и появились эти прогалины примерно в возрасте 120 лет.

Вообще, прогалины – обычное дело в пологе древостоя, если анализировать его структуру по проекциям крон. Кроны часто вытянуты по горизонтали, и ветви не всегда направлены в сторону свободного пространства. Более того, кроны плотно соприкасаются и даже образуют что-то наподобие локальных цепочек (рис. 2.16).

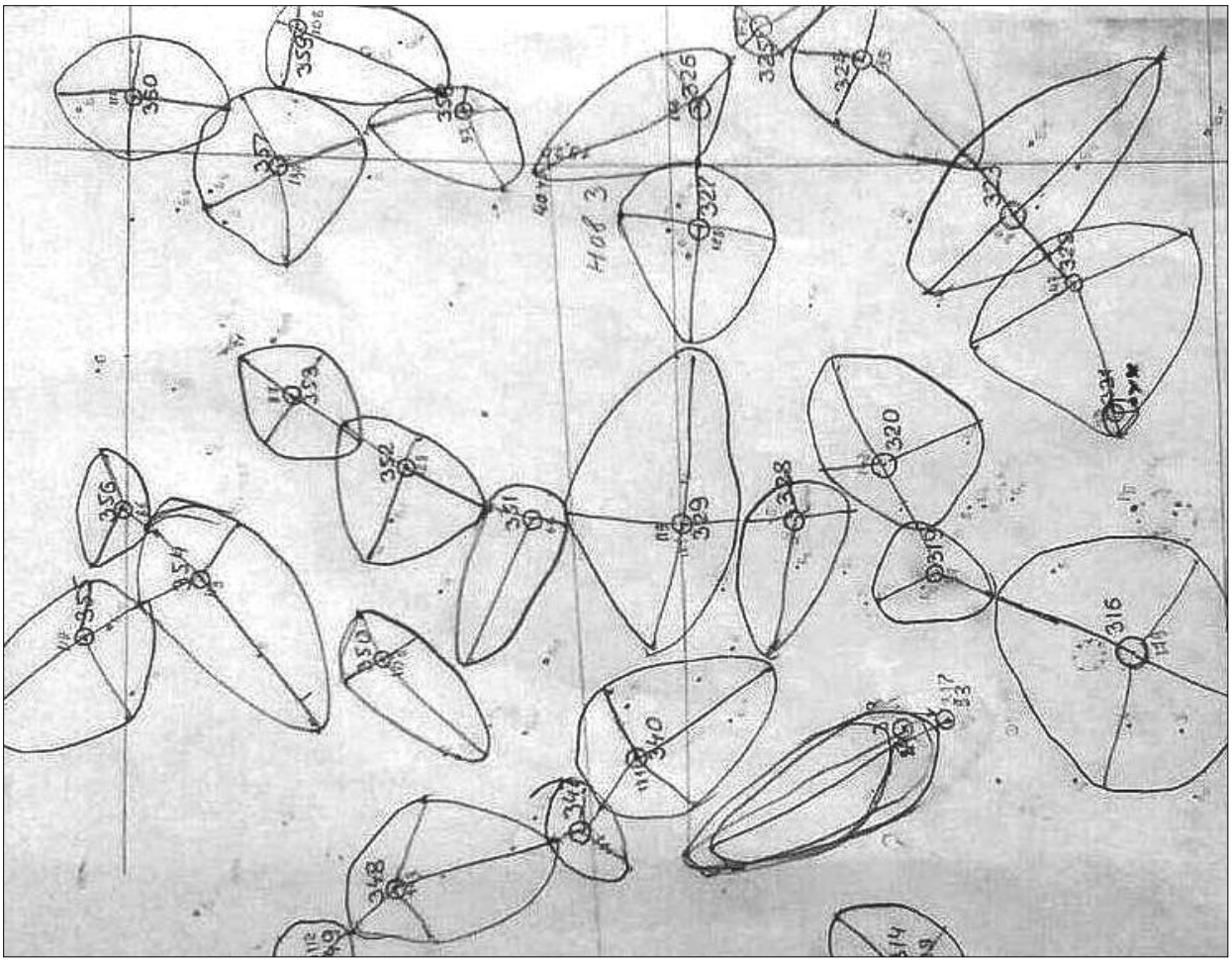


Рис. 2.16. Проекции крон сосны на фрагменте полевого абриса

У сухостойных деревьев, в отличие от пней, можно определить причины их отмирания. Время последней уборки сухостоя – 2001 г. или 16 лет назад. Всего на участке «Южный» в 2017 г. было зафиксировано 15 шт. сухостойных деревьев. По причинам их ослабления они были разделены на три группы:

1. Сильная конкуренция со стороны 4-х и более соседей – 40 %.
2. Ослабление дерева из-за болезней – 13 %.
3. Невыясненные причины – 47% .

Сильная конкуренция при близком расположении соседей, а также плодовые тела грибов на стволе являются вполне очевидными причинами ослабления, а затем отмирания дерева (рис. 2.17, 2.18).

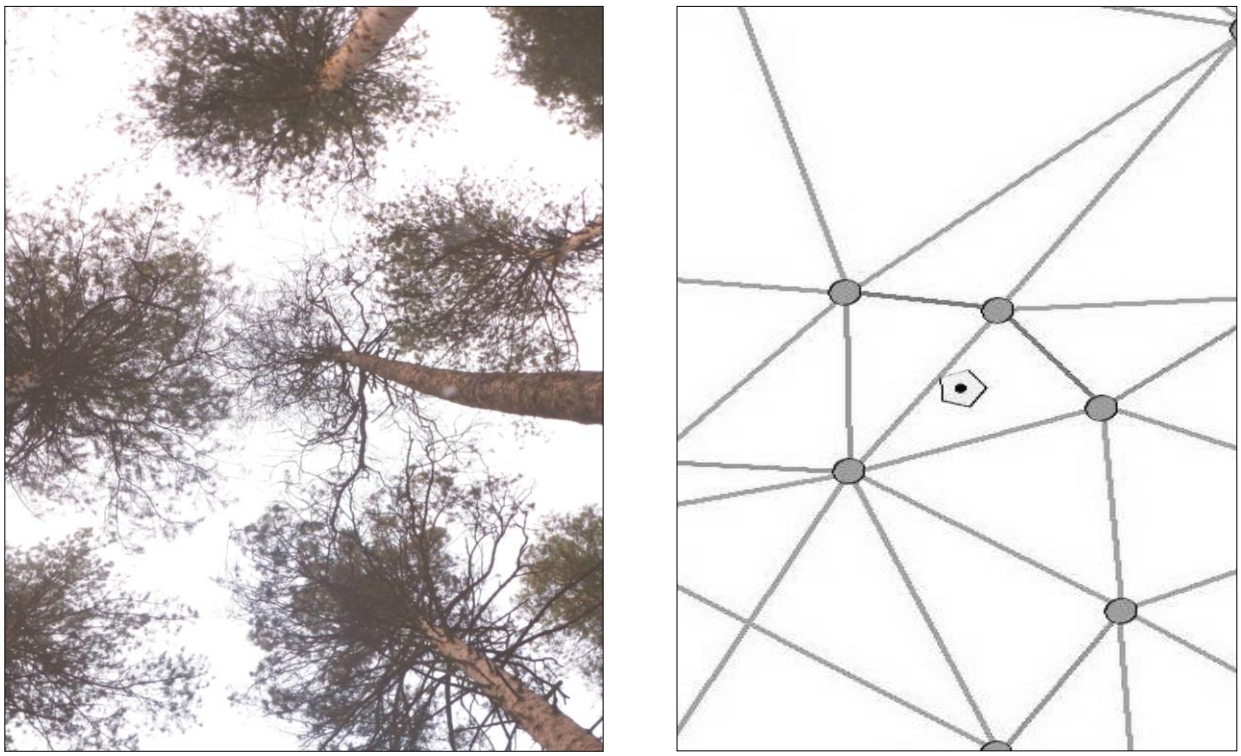


Рис. 2.17. Усыхание дерева из-за сильной конкуренции:
слева фото кроны, справа его расположение на карте

Рис. 2.18. Усыхание сосны из-за стволовой гнили, вызванной сосновой губкой:
слева ствол, справа крона дерева

Вместе с тем, иногда дерево усыхает и по непонятным причинам вблизи крупных прогалин. Это представляет, вообще говоря, загадку; на прогалине, взятой в качестве примера, была обнаружена даже целая группа полусгнивших небольших пней сосны и березы (рис. 2.19).

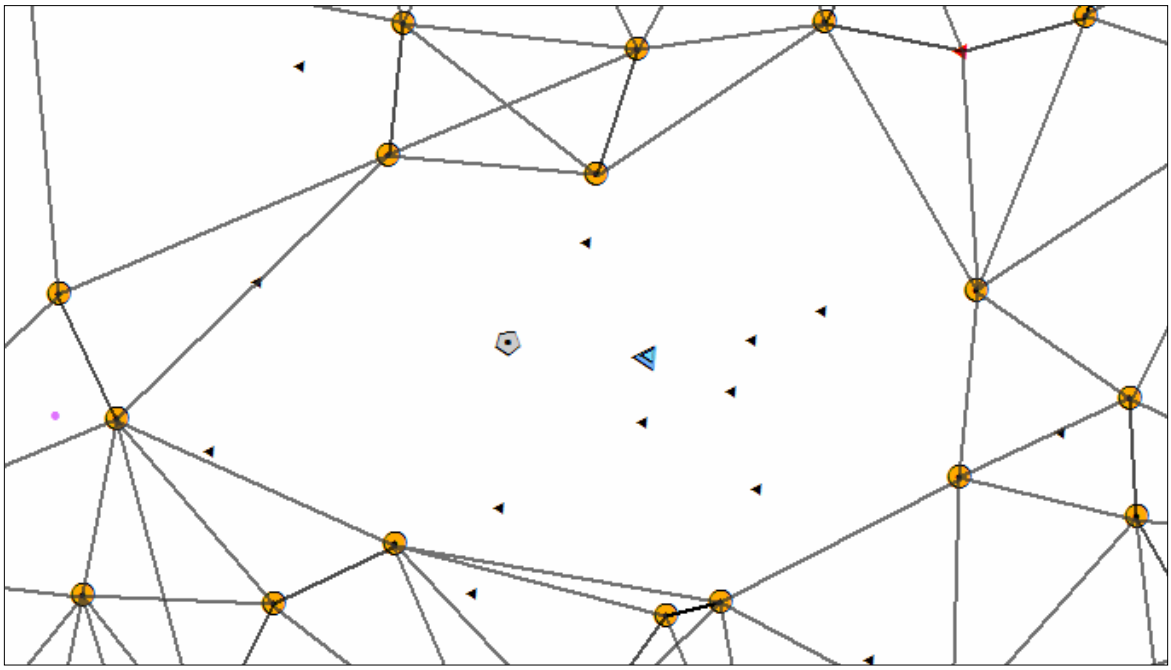


Рис. 2.19. Усыхание сосны в прогалине по неустановленным причинам (возможно, смоляной рак сосны): вверху полог древостоя, внизу карта

Санитарное состояние древостоя, с учетом преклонного возраста сосны, можно считать удовлетворительным. Из 735 живых деревьев с плодовыми телами гриба сосновая губка обнаружено 71 шт. или 9.7%. При этом на участке «Северный», с несколько более благоприятными условиями, поражение этим

грибом оказалось в 3.9 раза больше и составило 15.6%, тогда как на участке «Южный» оно оказалось всего 4.0% (табл. 2.2, рис. 2.20).

Таблица 2.2. Поврежденные сосновой губкой деревья сосны на 30.10.2018 г.

№	Д, см	№	Д, см	№	Д, см	№	Д, см		№	Д, см
участок "Северный"									Участок "Южный"	
6	65,9	147	44,5	382	38,5	457	34,2		188	43,0
9	55,7	148	47,4	394	34,4	477	38,8		199	33,7
27	48,4	157	43,0	399	52,8	712	45,2		213	37,6
29	41,7	227	51,3	400	36,0	718	37,0		222	29,6
32	41,1	235	39,2	403	42,7	1221	42,7		225	43,0
35	35,3	237	40,4	404	39,6	1401	29,8		284	36,0
41	55,1	248	41,4	407	23,7	1601	40,8		291	36,3
58	36,0	251	44,4	408	26,7	1603	48,7		311	31,5
59	41,7	256	37,2	409	29,0	2381	44,1		312	38,8
84	21,3	258	44,4	419	36,4	2561	40,0		358	29,3
93	52,2	262	38,7	423	33,3	3106	25,2		561	35,0
96	36,6	365	49,8	430	36,3				567	44,6
116	34,4	370	36,0	449	35,2				577	25,2
135	36,3	373	38,8	454	25,8				651	54,4
146	50,9	377	36,6	455	44,9				5331	50,3
				Итого, шт.			56			15
				Дср			40,1			37,9
				Дmax			65,9			54,4
				Дmin			21,3			25,2
				Число деревьев на участке, шт.			359			376
				В том числе повреждены, шт .			56			15
				%			15,6			4,0
Всего повреждены из 735 деревьев 71 шт. или 9,7%.										

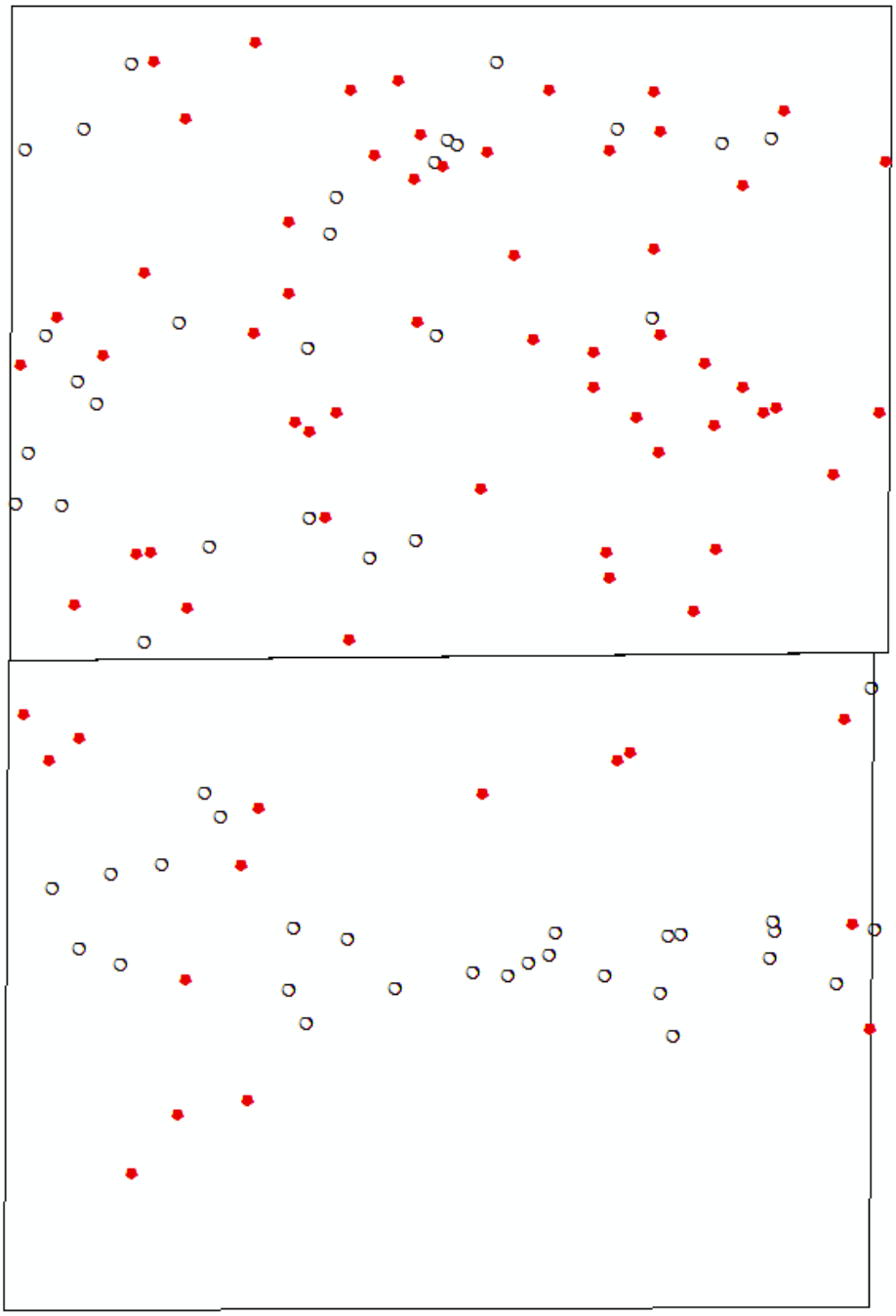


Рис. 2.20. Деревья, поврежденные сосновой губкой (красные точки) и ветровалом 14 лет назад (пустые овалы)

Средний диаметр поврежденных сосновой губкой деревьев оказался чуть меньше среднего арифметического – 39.6 см. Встречались как самые крупные (66 см), так и самые мелкие по диаметру деревья (21 см).

ГЛАВА 3
МАКРОЦЕНОЗЫ (ДРЕВОСТОИ)

3.1. Возраст сосны

Возраст дерева определяли по кернам древесины, высверливая ствол возрастным буравом на высоте 1.3 м. Самые старые из деревьев находились по краям глубоких ям, выкопанных 195 лет назад на местах выжигания древесного угля (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Взятие керна для определения возраста у сосны, поселившейся на краю ямы в том месте, где 195 лет назад выжигали уголь

Анализ кернов позволил заглянуть глубоко в историю поселения и развития сосны на этой территории. Так, засуха 1981 г. и низовой пожар в 1982 г. оставили на керне ясно читаемые следы в виде двух узких колец. Далее их ширина резко увеличилась, так как после пожара и сгорания лесной подстилки в почву поступило повышенное количество минеральных

веществ, а также резко улучшилось поступление влаги, которая уже не задерживалась мощной подстилкой. В результате текущий прирост спустя 4 года в течение целых 20 лет (!) после пожара был в 2 раза больше, чем в предыдущие 110 лет, когда пожаров не было и мощная лесная подстилка препятствовала минеральному питанию сосны (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Дерево № 172 диаметром 43 см на высоте 1.3 м имеет 176 слоев древесины. Стрелка указывает на пожар 1982 г.

Вообще, низовые пожары действует благоприятно на сосну, и этот аспект весьма интересен для анализа истории ее процветания в долине р. Кама. Вопрос этот в Прикамье изучен слабо, в отличие от Сибири, где пожары рассматривают как необходимый элемент лесообразовательного процесса [Седых, 2009] и фактор эволюции лесных биогеоценозов [Санников, 1981]. Однако этот вопрос выходит за рамки нашей работы и нуждается в отдельном изучении. Поясним, что фото керна здесь приведено также и для того, чтобы подтвердить наши оценки возраста подроста ели, который появился сразу после этого низового пожара.

В 2017-2018 гг. всего были взяты керны у 21 дерева из средних и крупных ступеней толщины. К слоям древесины на керне добавляли 7 лет, считая, что как раз за это время сосна здесь могла достигать высоты взятия керна на высоте 1.2 м. Возраст сосны оказался в среднем 184.5 года, с колебаниями от 174 до 195 лет. Получается, что сосна заселяла эту территорию, начиная с 1823 г. в течение 21 года. Парадоксально, но

особенно крупные деревья имели как самый старый, так и самый молодой возраст (рис. 3.3).

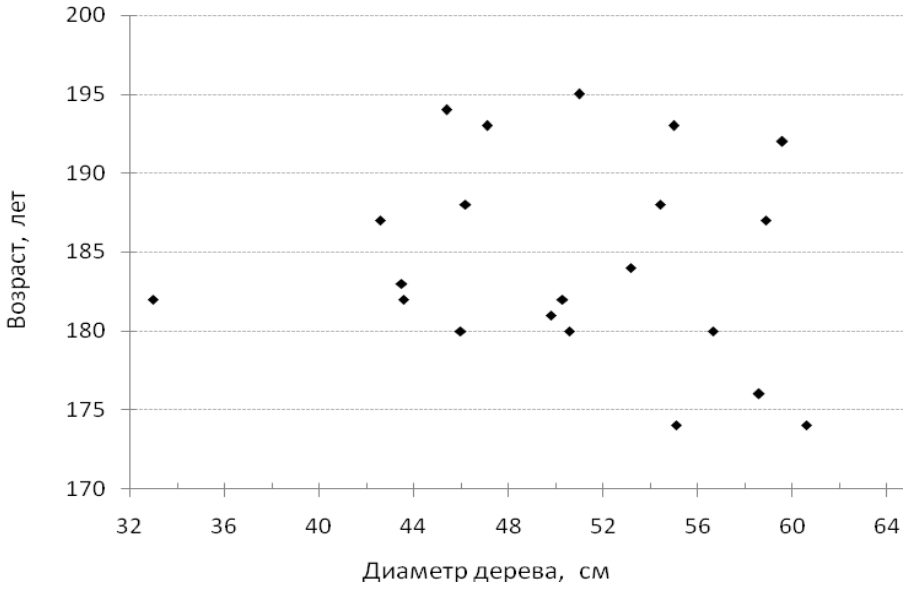


Рис. 3.3. Диаметр деревьев сосны на высоте 1.3 м и их возраст

Объяснение для крупных, но более молодых деревьев может быть двоякое. Либо они имели быстрый рост, обусловленный *генетическим* фактором (так называемые «плюсовые деревья»), либо на территории есть *места, особо благоприятные* для роста сосны. Оба фактора равнозначны. В связи этим в совершенно ином свете представляется выделение плюсовых деревьев. Например, если к ним относить деревья с диаметрами от 52 см (превышение диаметра на 30% и более), то из них следует выбирать имеющие возраст 174–183 года, т.е. примерно 50% деревьев. В этом случае их рост будет обусловлен генетическим фактором в гораздо большей мере.

Действие генетического фактора в росте плюсовых деревьев подтверждается, например, в работе М. Г. Романовского и Р. В. Щекалева [2016], где было показано, что продуктивность дерева определяют их особенности, обусловленные генотипом. В то же время, нельзя исключать и «фактор места», так как размеры деревьев зависят в большей степени не от площади их питания, а от экологической неоднородности биотопа, в котором существуют биологически благоприятные и неблагоприятные зоны. В благоприятных зонах деревья растут более плотно и крупнее по размерам, а в неблагоприятных – наоборот [Марченко, 1995; Демаков, Медведкова, 2009; Демаков и др., 2011; Демаков и др., 2012].

В результате анализа указанных деревьев удалось образовать 4 кластера, где средний возраст составил 174.7, 181.1, 186.8 и 193.3 года. По ним можно выяснить периодичность хороших урожаев, которая оказалась в

среднем 6.2 года (6.5, 5.7 и 6.4 года). Затем можно рассчитать примерные годы вылета семян, которые приходились на 1842, 1836, 1830 и 1824 годы.

3.2. Диаметры деревьев

После картирования деревьев и получения данных о диаметрах они были ранжированы и сгруппированы по классам через 4 см (рис. 3.4).

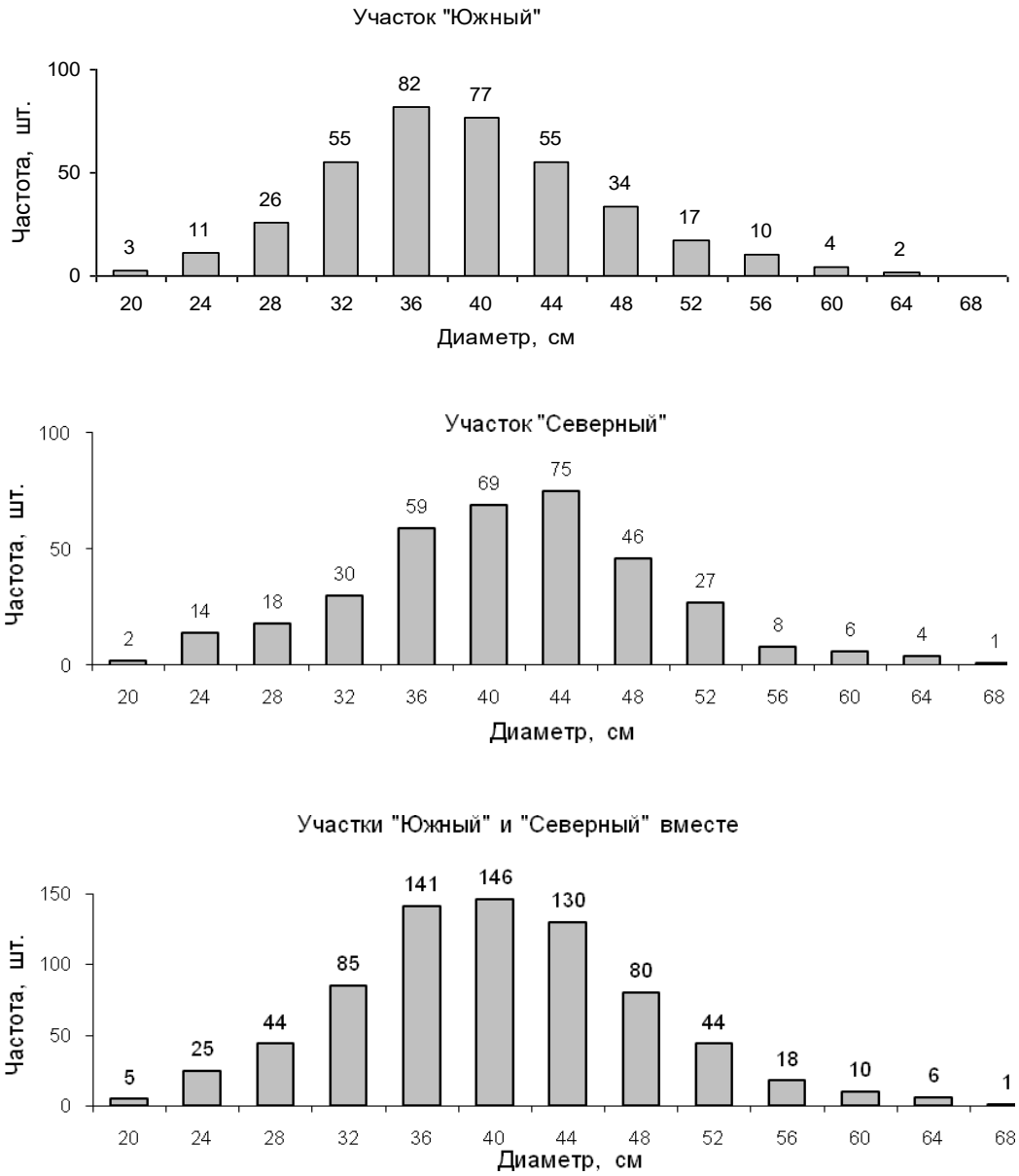


Рис. 3.4. Частоты деревьев сосны по классам диаметра

Хорошо видно, что на участке «Южный» имеется слабая левая, а на участке «Северный» – правая асимметрия, которая исчезает при объединении

участков и в целом частоты диаметров почти идеально соответствует частотам нормального распределения. Причины отклонений частот в левую сторону кроются в большей, а в правую – в меньшей густоте древостоя, которая составляет на участке «Северный» 324, а на участке «Южный» 344 шт./га. Казалось бы, различия небольшие (6.0%), но они оказались достаточны для снижения среднего диаметра на более густом участке на 5.4 %. Средние диаметры, рассчитанные по площади сечения, были равны на участке «Северный» 42.1 см, а на участке «Южный» 39.8 см.

Эти различия в диаметрах мы заметили глазомерно еще при определении типа леса и отнесли их также и на влияние несколько более влажных условий на участке «Северный», который находится на пологом склоне (2-3°), где имеется также и плоская часть, где могли в далеком прошлом на дне реки Камы (или моря) осаждаться чуть больше глинистых частиц, улучшающих почвенные условия. Но эти соображения пока нельзя подкрепить данными о механическом составе почвы, который здесь еще не проводился, а также данными о залегании плотных прослоек глины на более глубоких горизонтах, чем это принято исследовать при закладке почвенных разрезов. Возможно, здесь поможет просвечивание грунта с помощью георадара.

3.3. Структура высот на участках «Южный» и «Северный»

Участок «Южный»

Выполняя правила таксации на пробных площадях [ОСТ 16128-70. Площади пробные…, 1970], были измерены высоты 27 деревьев и построена связь диаметр-высота, для которой мы начали подбирать линию тренда. Самый высокий коэффициент аппроксимации ($R^2 = 0.705$) показал полином 4 степени. Примечательно, что его тренд был почти горизонтален для группы средних по диаметру деревьев (рис. 3.5).

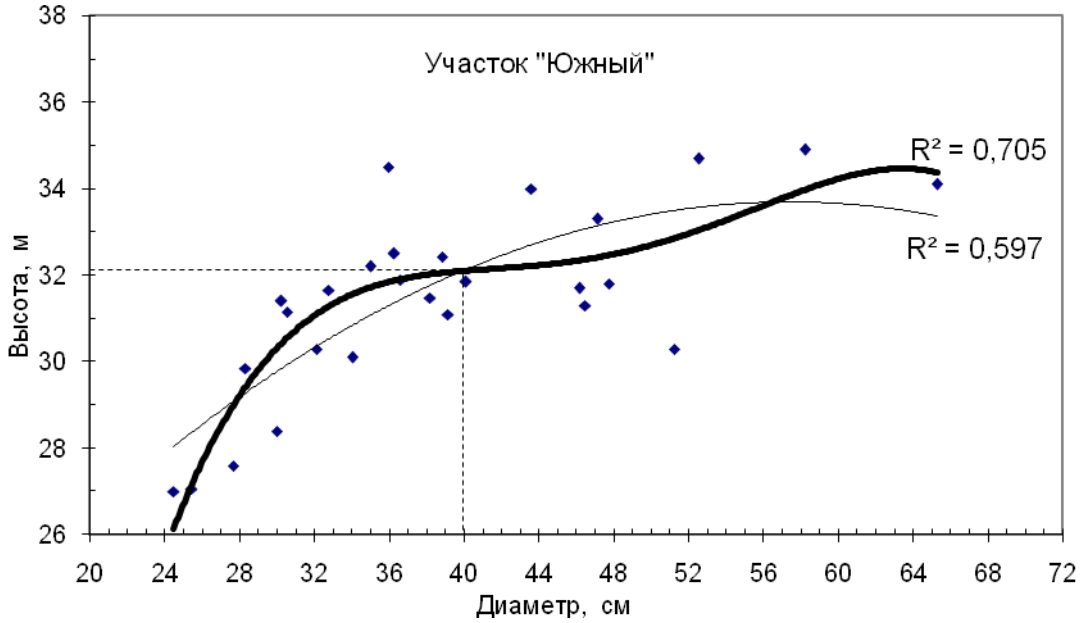


Рис. 3.5. Зависимость между высотой и диаметром 27 деревьев

Чтобы убедится в правильности этого необычного тренда, и в особенности не случайности дерева с высотой 34.5 м при диаметре всего лишь 36 см, мы дополнительно измеряли еще 48 деревьев. При этом преследовали также цель определить высоты у самых крупных особей, среди которых выбирают «плюсовые» деревья. График с большим числом точек показал правильность выбора полинома 4-степени, где аппроксимация оказалась по-прежнему выше при $R^2 = 0.560$ (рис. 3.6).

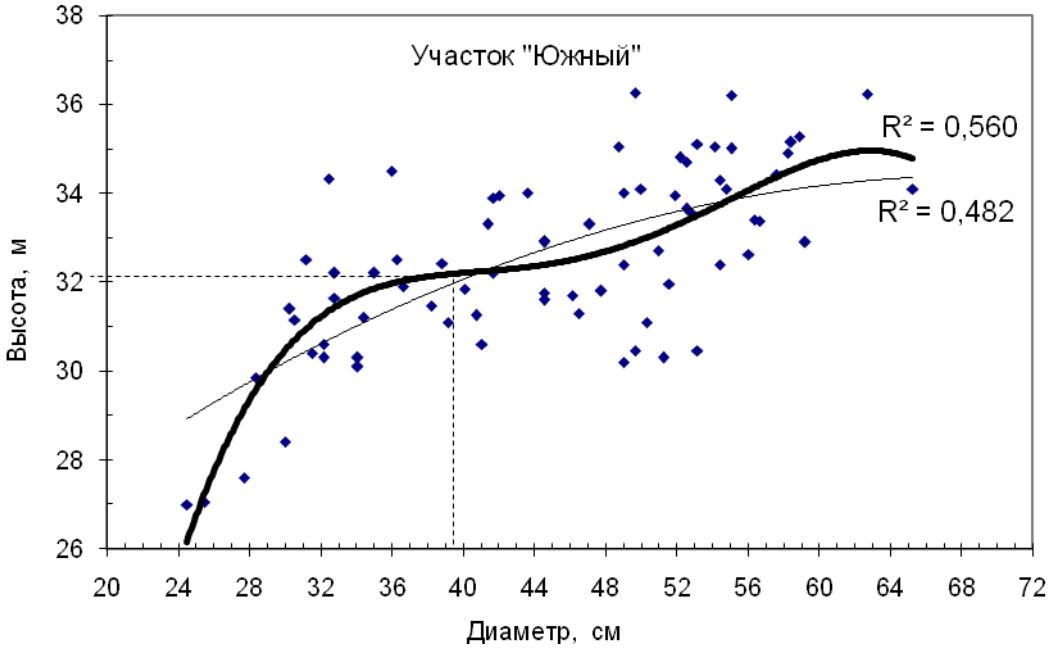


Рис. 3.6. Зависимость между высотой и диаметром 75 деревьев

Здесь для группы средних (32 –46 см) по диаметру деревьев средние высоты по классам диаметра практически равны, и если «убрать» отставшие деревья, то графически можно было бы провести выравнивающую линию диаметр-высота для них практически горизонтально. Такая картина характерна для сосны, с почти одинаковыми средними высотами для деревьев 2–3 и даже 4-х классов Крафта, и характеризует ее как светолюбивую породу.

При этом средние деревья сильно вытягиваются вверх даже в ущерб роста по диаметру, в стремлении не отстать от своих более крупных соседей, о чем имеются давние наблюдения у лесоводов [Нестеров, 1961; Демаков, 2018]. Это еще раз говорит в пользу локализации таких высоких деревьев на *особо благоприятных местах* для роста сосны, о которых уже шла речь при объяснении причин, почему крупные деревья имеют самый молодой возраст. Ни в рельефе, ни в напочвенном покрове такие места никак себя не проявляли, и их *индикаторами* пока могут быть только деревья.

На обсуждаемых графиках прерывистыми линиями показано нахождение средней высоты яруса сосны по среднему диаметру, и эта высота для участка «Южный» оказалась равна 32.1 м. Известно, что в спелых древостоях сосны средняя высота приближается к так называемой «господствующей» или «верхней» высоте, которую рассчитывают по высотам деревьев 1-го и 2-го классов Крафта, или по высотам крупных деревьев с толщиной начиная от 85 ранга и выше (при разбиении размаха диаметров на 100 рангов). Эта верхняя высота равна здесь по первому графику 33.5 м и по второму – 34.0 м. Второй точнее, и примем господствующую высоту равной 34.0 м.

Участок «Северный». Здесь высоты были вначале измерены у 32 деревьев, в соответствии с их представленностью по диаметрам, а затем их число довели до 74-х. Полученная диаграмма отличается от предыдущей более ровным трендом и более высокой аппроксимацией (R=0.659). Средняя высота здесь 33.5 м, что выше участка «Южный» на 1.4 м или на 4.4% (рис. 3.7).

Господствующая или «верхняя» высота здесь была рассчитана по высотам 25 крупных деревьев с диаметрами от 50 см и оказалась 35.1 м, что также выше, чем на участке «Южный», на 1.1 м или на 3.2%.

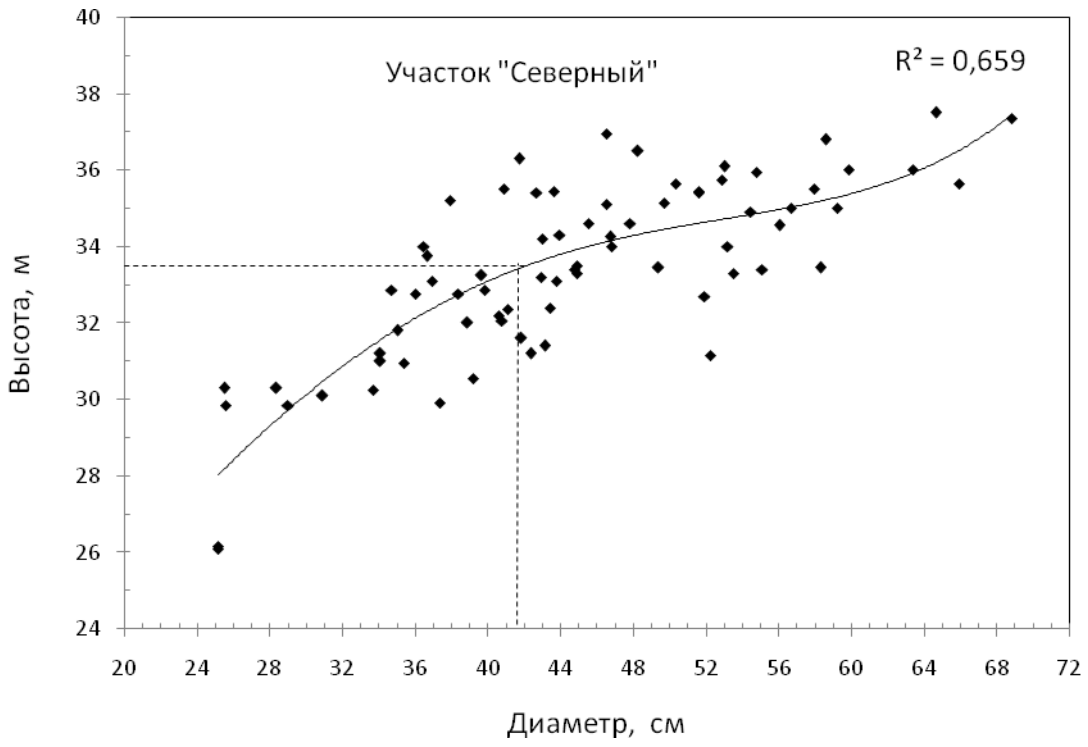


Рис. 3.7. Зависимость между высотой и диаметром 74 деревьев

Таким образом, расчеты по данным измерений высот и диаметров 149 деревьев сосны в возрасте 184 года в условиях 1 класса бонитета позволяют утверждать, что связь между ними лучше всего аппроксимирует полином 4-й степени. При такой связи деревья средних ступеней толщины 2–4 классов Крафта имеют очень близкие средние высоты. Данная закономерность как раз и позволяет довольно точно определять высоту яруса сосны по 2–3 средним деревьям, что давно используется при глазомерно-измерительной таксации.

3.4. Наклон деревьев и горизонтальные проекции крон

К вертикальным деревьям относили те, высоты которых после нескольких измерений (не менее 2-х) отличались не более чем на 0.8–0.9 м. После измерении высот всех 149 деревьев на обоих участках выяснилось, что в столь преклонном возрасте их стволы стоят вертикально лишь в 4.1% случаев.

Очень редко, в 1.4% случаев, стволы были наклонены на юго-запад, а в подавляющем числе случаев (94.6%) их наклон был на северо-восток, восток, юго-восток и юг примерно в равных пропорциях. Вполне очевидно, что здесь влиял климатический фактор – западные ветра, преобладающие в данном регионе (рис. 3.8).

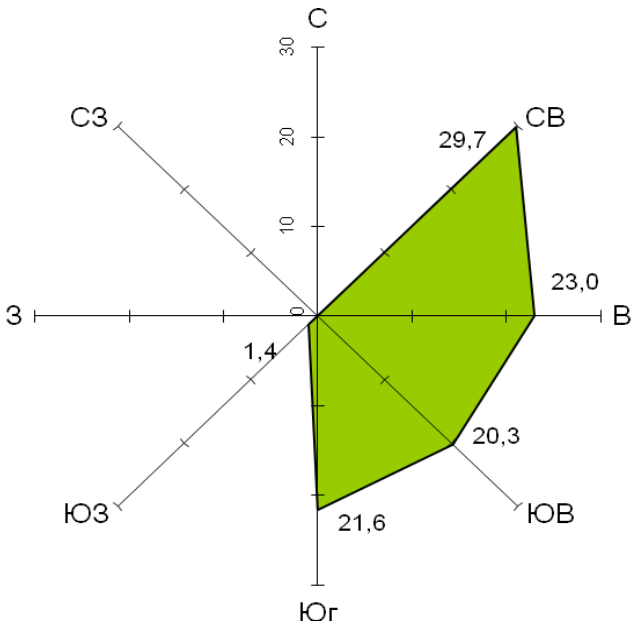


Рис. 3.8. Наклон деревьев сосны по сторонам света в возрасте 184 лет

Так как деревья наклонены, то их кроны имеют проекции с центрами, часто не совпадающими с положением основания дерева на плане, что было хорошо видно на рисунке, помещенном выше в разделе 2.6 при первичном анализе материалов картирования (см. рис. 2.16).

Из-за смещения крон световая конкуренция в 184 года значимо изменится в сравнении с возрастом 80–90 лет, когда большинство деревьев были еще прямые. Раскачивание деревьев ветром и налипание снега на кроны привело к тому, что при трении друг о друга кроны теряли ветви, между ними возникал зазор и они интенсивнее росли в свободном от соседей направлении.

В целом же из-за отпада части деревьев полог постепенно размыкался и образовывались прогалины. Сомкнутость проекций крон на нескольких пробных площадях размером по 0.12 га колебалась в пределах 27–36%. И это при том, что относительная полнота на этом участке составила 0.91, т.е. *заполненность* насаждения деревьями относительно стандарта составила 91% (о стандарте полноты будет сказано ниже).

Поэтому проекции крон в таком возрасте, занимая в пологе более свободное положение, уже мало помогут в выяснении конкурентных взаимодействий между деревьями (рис. 3.9).

Рис. 3.9. Наклон деревьев обеспечивает кронам более свободное расположение в пологе и резко ослабляет конкуренцию за свет

3.5. Относительная полнота и запасы древесины

Господствующая высота нужна для того, чтобы воспользоваться стандартной таблицей полнот и запасов, разработанной Г. С. Разиным для лесов Пермского края (Основные положения…, 1977, с.537). Однако в оригинале в ней есть показатели только до высоты 30 м. Поэтому для нашего случая мы пролонгировали данные до высоты 36 м (прил. 1).

На участке «Южный» сумма площадей сечения 376 деревьев на площади 1.109 га оказалась равна 46.8 м^2, откуда получаем полноту 46.8 / 1.109 = 42.8 м^2/га. Далее сравниваем 42.8 м^2/га со стандартом полноты для сосны, показанным в приложении 1, где для господствующей высоты $H_{госп.}$ = 34.0 м полнота Σg = 47.2 м^2/га (см. прил. 1). Разделив на нее нашу полноту, получаем относительную полноту 42.8 / 47.2 = 0.91. Далее стандарт запаса 677 м^3/га умножаем на полноту 0.91 и получаем запас на 1 га: 677 × 0.91 = 614 м^3/га.

На участке «Северный» аналогичные расчеты здесь привели к следующим результатам. Сумма площадей сечения 359 деревьев на площади 1.108 га равна 49.8 м^2, откуда получаем абсолютную полноту 49.8 / 1.108 = 44.9 м^2 /га. Далее сравниваем 44.9 м^2 /га со стандартом полноты из таблицы Г.С. Разина в приложении 1. Для господствующей высоты здесь, равной $H_{госп.}$ = 35.1 м имеем стандарт полноты Σg = 47.4 м^2 /га (см. прил. 1). Разделив на нее нашу полноту, получаем относительную полноту 44.9 / 47.4 = 0.95. Далее стандарт запаса 692 м^3 /га из того же приложения для $H_{госп.}$ = 35.0 м, умножаем на относительную полноту 0.95 и получаем запас 692 × 0.95 = 655 м^3 /га.

Таким образом, насаждения сосны в исследуемом массиве отвечают самым высоким стандартам продуктивных насаждений.

3.6. Сравнение таксационных показателей

В результате проведенной выше инструментальной таксации характеристика насаждений на участках в 2017 г. оказалась следующей:

Участок «Южный» – площадь 1.109 га, состав 10С ед Е, возраст 184 года, средняя высота 32.1 м, средний диаметр 39.8 см, тип леса сосняк кисличниковый с преобладанием 70 % черники и 30 % брусники, класс бонитета 1, абсолютная полнота 42.8 м^2/га, относительная полнота 0.91, запас 614 м^3/га. Если же учесть 28 ветровальных деревьев, то по отношению к ныне имеющимся (376 шт.) их число и, соответственно, полнота и запас могли бы увеличиться на 7.4% и составить 660 м^3/га при полноте 0.98. Текущая густота здесь 339 шт./га.

Санитарное состояние – с плодовыми телами гриба сосновая губка обнаружено 15 деревьев (4.0%), все ветровальные деревья убраны.

Участок «Северный» – площадь 1.108 га, имеет тот же состав, возраст и близкий тип леса – сосняк кисличниковый, но здесь уже явно преобладает черника (95%), а на долю брусники приходится 5%, что свидетельствует о несколько более влажных условиях. Средняя высота 33.5 м, средний диаметр 42.1 см. Густота древостоя меньше на 6 %, но полнота выше и достигает 0.95, запас составляет 655 м^3 /га. Если же учесть 27 ветровальных дерева, что составляет 7.5 % к ныне живым деревьям, то по отношению к ним (359 шт.) их число, полнота и запас древостоя могли бы увеличиться и составить 700 м^3/га при полноте 1.02. Текущая густота здесь 324 шт./га.

Санитарное состояние – с плодовыми телами гриба сосновая губка обнаружено 56 деревьев (15.6%), все ветровальные деревья убраны.

На обоих участках единично встречается ель в возрасте 120 лет с диаметрами 20–45 см, образующая невыраженный второй ярус. Представлен также и подрост ели в основном поколением высотой 3-6 м в возрасте 35 лет, возникшим после низового пожара и двойного обильного урожая семян ели в 1981 и 1982 г.

Таким образом, с учетом весьма преклонного возраста сосняков, по которому они относятся уже к перестойным насаждениям, их санитарное состояние можно считать удовлетворительным, а по таксационным показателям их можно отнести к эталонам насаждений для рекреационного использования.

Сравнение таксационных показателей показало достоверное увеличение среднего диаметра сосны на участке «Северный» на 5.5% (табл. 4. 1).

Приведенные в этой таблице показатели рассчитаны как обычные средние арифметические величины. Поэтому они несколько отличаются от таксационных показателей диаметров и высот на участках, приведенных выше, рассчитанных по средней площади сечения дерева.

В целом данные в таблице подтверждают предположения о том, что условия роста на участке «Северный» более благоприятны для сосны. Это могут быть как лучшие почвенные условия, так и меньшая на 6% густота, при которой модальные классы диаметров сместились вправо (см. рис. 3.2) и сформировалось больше крупных деревьев.

Таблица 3.1. Увеличение таксационных показателей сосны в 184-летнем насаждении с меньшей (n = 359 шт.) густотой на участке «Северный»

Показатели	Участки	Статистики				Различие	
		n	x	$\pm б$	$\pm m$	%	t
Диаметр, см	Северный Южный	359 376	41,2 39,1	8,19 7,67	0,43 0,40	5,5**	3,64
Высота, м	Северный Южный	74 75	33,4 32,5	2,35 2,00	0,27 0,24	2,9*	2,60
«Верхняя» высота, м	Северный Южный	25 24	35,1 34,1	1,48 1,35	0,30 0,28	3,0*	2.47

**- различие достоверно при $t_{0.01}$ = 2.7; *- различие достоверно при $t_{0.05}$ = 2.0

Различия по диаметрам достоверны с вероятностью более 99%. По высотам различия почти так же достоверны и доказываются в 97% случаев.

Полученные результаты, в сущности, не показали нам ничего нового – отрицательное влияние повышения густоты на рост насаждений известно давно. Однако сила влияния густоты как фактора, действующего в пределах пространства *одного насаждения* (одного массива леса) прежде не рассматривалась, так как таксаторы обычно сравнивали разные насаждения, отобранные в примерно одинаковых типах условий местопроизрастания, но разного возраста, с целью выстраивания так называемого «естественного ряда» развития насаждений для составления в последующем таблиц хода роста.

Поэтому далее мы попытаемся выяснить точное значение силы влияния густоты как фактора на размеры деревьев, которая в естественном насаждении всегда имеет некоторую изменчивость.

3.7. Влияние густоты древостоев на диаметр сосны

Площадь участка в 2.2 га позволяет разбить этот массив на несколько участков, например, на четыре и сравнить их по средним диаметрам.

Выше отмечалось, что при близких средних высотах (33.4 и 32.5 м), отличающихся на 2.9%, есть достоверные различия между участками «Южный» и «Северный» по полноте, диаметрам и высотам, обусловленные этими различиями по густоте, которые заметны даже на глаз; при этом число деревьев в массиве (735 шт.) достаточно велико и позволяет при делении на 4 пробных площади (ПП) получить достоверные различия по средним диаметрам.

Для этого участки разделили пополам и получили ПП 1 и ПП 2 на участке «Северный» и ПП 3 и ПП 4 на участке «Южный». Их размеры оказались почти равны и составили для ПП 1 и 2 0.554 га, а для ПП 3 и 4 – 0.547 га. Проанализируем диаметры сосны на этих пробах на фоне естественной флуктуации густоты по массиву (табл. 3.2).

На пробах было учтено от 170 до 201 дерева, и общее их число на всех четырех ПП составило 735. По отношению к ПП 1 остальные пробы имели густоту больше на 2–17 %, однако ее повышение привело, тем не менее, к снижению относительной полноты на них до 0.80–0.95, тогда как на ПП 1 полнота оказалась самой высокой и равной 1.01. Снизились и средние арифметические диаметры – от 43 см на ПП 1 и до 38.8 см на ПП 3, что составило 90.1 – 92.0% от значений диаметра на ПП 1.

Таблица 3.2. Показатели таксации сосны при разделении массива леса площадью 2.2 га на четыре пробных площади (ПП)

Показатели	Ед. измер.	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	Всего
Учтено деревьев,	шт.	170	189	201	175	735
Густота	шт./га	315	350	369	322	339
То же, по отношению к ПП 1	%	100	111	117	102	-
Полнота	$м^2$/га	47,5	44,7	37,6	41,2	42,8
Относительная полнота	-	1,01	0,95	0,80	0,87	0,91
Средний диаметр по площади сечения (Дср)	см	43,8	40,3	39,4	40,4	41,0
Сравнение по среднеарифметическим диаметрам						
Среднеарифметический диаметр	см	43,0	39,6	38,8	39,5	40,2
То же, по отношению к ПП 1	%	100	92,0	90,1	91,8	-
Стандартное отклонение	см	8,40	7,67	6,96	8,42	7,86
Статистическая ошибка	см	0,64	0,56	0,49	0,64	0,29
То же, в % к среднему	%	1,5	1,4	1,3	1,6	0,7
Критерий различия t от ПП 1	-	-	4,0	5,2	3,9	-

Отличия от ПП 1 высоко достоверны для всех остальных ПП, однако в ретроспекции по густоте есть один ньюанс. Дело в том, что различия по густоте между ПП 1 и ПП 3 составляют ныне 17%, а 60 лет назад они достигали 26%, причем на ПП 1 и ПП 4 густота была одинакова, что хорошо видно на диаграмме, где пробы расположены в порядке возрастания густоты (рис.3.10).

Увеличение густоты древостоя в пределах массива сосны приводит к закономерному снижению полноты на 0.14 и Дср на 4.2 см, или на 10%. При этом наилучшие показатели имеет ПП 1 с самой малой густотой.

Эти результаты опять-таки не показали нам ничего нового. И *силу влияния* густоты как фактора по этим данным рассчитать нельзя, так как нужна выборка не из 4-х, а из большего числа пробных площадей. Поэтому в следующих главах массив сосны будет разделен на меньшие пробы, которые можно будет отнести уже к миди- и микроценозам (куртинам и биогруппам).

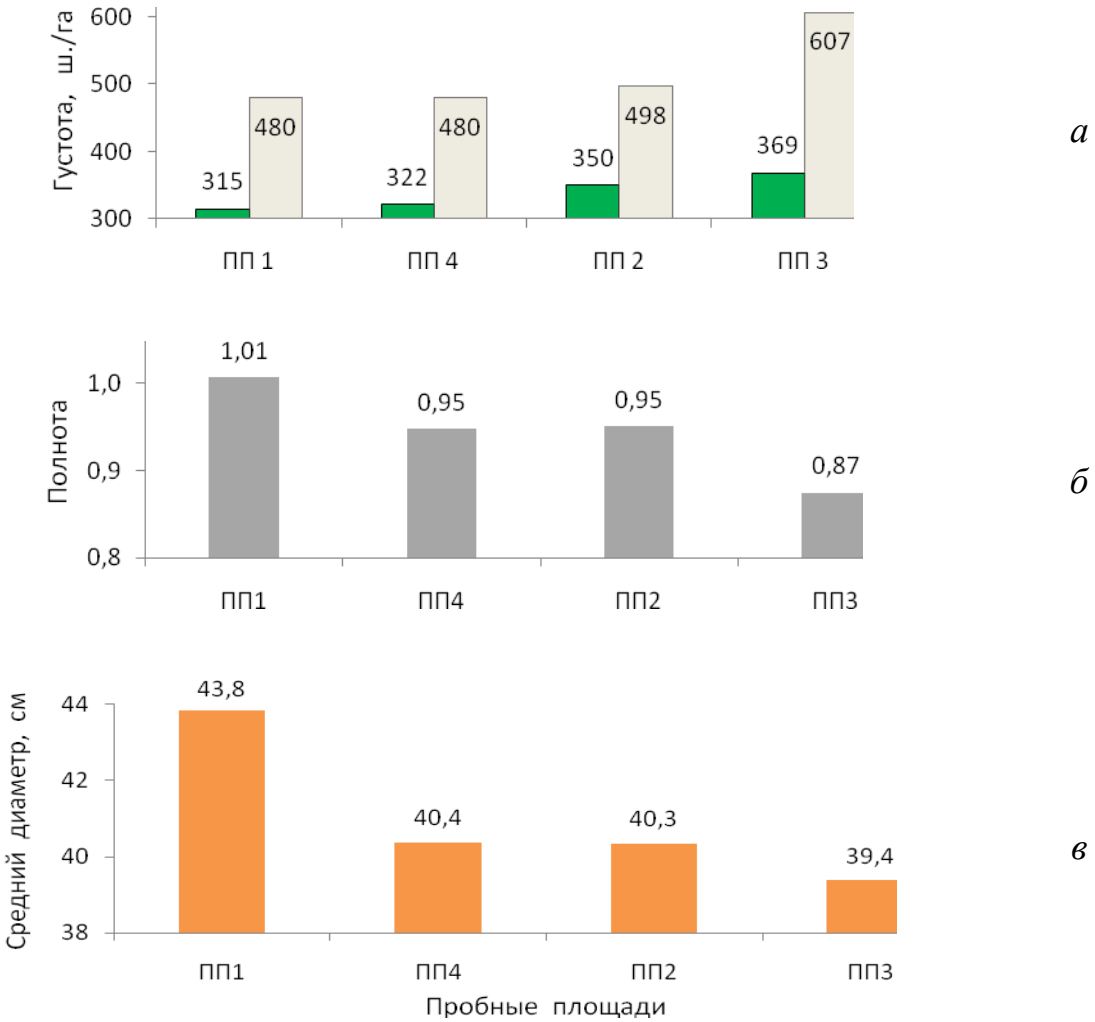


Рис. 3.10. Таксация древостоев сосны: *а* – густота (слева текущая, справа 60 лет назад); *б* – полнота; *в* – средний диаметр

3.8. Выводы

1. Возраст сосны оказался в среднем 184 года, с колебаниями от 174 до 195 лет. Самыми молодыми неожиданно оказались и очень крупные деревья. На их продуктивность могли повлиять генотип дерева либо места, особо благоприятные для роста сосны, либо их взаимодействие.

2. Частоты диаметров в массиве сосны почти идеально соответствует частотам нормального распределения. На участке «Южный» модальный класс сдвинут влево и равен 36 см, на участке «Северный» – вправо и равен 44 см.

3. Для связи диаметров деревьев с их высотами самый высокий коэффициент аппроксимации показал полином 4 степени. При такой форме связи деревья средних и прилегающих ступеней толщины имеют почти

одинаковые средние высоты. Данная закономерность позволяет очень точно определять высоту яруса сосны по трем *приблизительно* средним деревьям.

4. Стволы сосны прямые только у 4.1% деревьев. В остальных случаях они наклонены в восточном направлении из-за преобладания западных ветров.

5. Кроны деревьев из-за наклона стволов имеют проекции с центрами, часто не совпадающими с положением основания дерева. Сомкнутость полога оказалась примерно 25-30% и это при том, что относительная полнота древостоя на двух участках составляла 0.91 и 0.95.

6. На участке «Южный» текущая густота 344 шт./га, средний диаметр равен 39.8 см, высота яруса 32.1 м, верхняя высота 34.0. Сумма площадей сечения стволов 42.8 $м^2$/га, относительная полнота и запас 0.91 и 614 $м^3$/га. Если учесть ветровальные деревья, то полнота и запас могли бы увеличиться на 7.7% и составить 0.98 и 660 $м^3$/га.

7. На участке «Северный» текущая густота 324 шт./га, средний диаметр 42.1 см, высота яруса 33.5 м, верхняя высота 35.1 м. Сумма площадей сечения 44.9 $м^2$ /га, относительная полнота и запас 0.95 и 655 $м^3$/га. Если учесть ветровальные деревья, то полнота и запас могли бы увеличиться на 6.5% и составить 1.02 и 700 $м^3$/га.

8. Сравнение данных показало достоверное увеличение на участке «Северный»: среднего диаметра на 5.5%, средней высоты на 2.9%, «верхней» высоты на 3.0%. Увеличение может быть обусловлено как лучшими условиями увлажнения почвы, так и меньшей на 6% густотой.

9. При разделении массива сосны на 4 пробных площади размером по 0.54 га, при естественной флуктуации и снижении густоты от 369 до 315 шт./га, средние диаметры и полнота на них повысились, соответственно, от 39.4 до 43.8 см и от 0.80 до 1.01. Лучшие показатели имеет пробная площадь с самой малой густотой и лучшими условиями увлажнения почвы.

Глава 4

ИЗУЧЕНИЕ ГРУППОВЫХ СТРУКТУР

4.1. Расстояние до ближнего соседа

Расстояние до первого ближнего соседа является наиболее простым способом оценки взаимодействия между деревьями. Для этого измеряют расстояния до соседей и выбирают самое короткое. У второго дерева в этой выбранной паре ближний сосед иногда располагался дальше, и тогда для него использовали то же самое расстояние; в результате полученное расстояние учитывали один раз для двух деревьев, и они образовывали как бы автономную пару. Если у второго дерева сосед находился ближе, то тогда имели уже цепочку из трех деревьев, и в ней два расстояния. При цепочке из четырех деревьев получали три расстояния и т.д., но более восьми деревьев в цепочках не встречалось. По этим причинам итоговое число расстояний оказалось меньше (280 шт.), чем все число живых деревьев на участке (375 шт.). Далее были сформированы три выборки расстояний:

1. Для возраста примерно 60 лет назад – между всеми ныне живыми и отпавшими деревьями, которые удалось опознать по следам сгнивших пней.
2. Между отпавшими деревьями (включая расстояния к живым особям).
3. Между ныне живыми деревьями (расстояния в настоящее время).

Поясним, что расстояния в выборке 1 характеризовали структуру древостоя 60 лет назад, а по выборке 3 можно будет выяснить, что произошло с ней к настоящему времени. Ветровальные деревья (29 шт.), вываленные 14 лет назад, также включали в выборку живых деревьев. За 100% приняли среднее расстояние 60 лет назад, которое составило 277 см (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Расстояние от дерева до ближнего соседа 60 лет назад, между отпавшими и между ныне живыми деревьями в возрасте 184 года

Выборки расстояний	Статистики расстояния (в см)						%	Критерий различия, t
	n	x	±б	±m	min	max		
1. Между деревьями 60 лет назад, в возрасте 120 лет	472	277	118,0	5,4	23	745	100,0	0
2. Между отпавшими деревьями	192	221	92,2	6,7	23	712	80,0**	6,5
3. Между живыми деревьями в возрасте 184 года	280	315	118,6	7,1	84	745	114,0**	4,3

* - различие достоверно при $t_{0,99} = 2,7$

Частоты расстояний показаны на диаграммах (рис 4.1 – 4.3).

Рис. 4.1. Расстояния до ближнего соседа в возрасте примерно 120 лет (60 лет назад), определенные по ныне живым и отпавшим деревьям

Структура расстояний 60 лет назад было асимметрична и коротких расстояний было больше, а хвост распределения частот был растянут в сторону дальних расстояний. Больше всего (77.6%) деревьев отпадало на расстоянии 101–300 см. На близких расстояниях (до 100 см) погибли 5.2%, а на самых дальних (301–600 см) – 17.2% деревьев (рис. 3.2).

Рис. 4.2. Расстояния до ближнего соседа у отпавших деревьев

Среднее расстояние до ближнего соседа у отмиравших деревьев оказалось 221 см, что составило 80% от расстояния между деревьями 60 лет назад. При сравнении с расстоянием между ныне живыми деревьями это расстояние меньше на 34% (см. табл. 3.1).

Ныне живые деревья растут на расстояниях от ближнего соседа в среднем 315 см, и в 82% случаев его диапазон составляет 150–450 см. Частоты этих расстояний очень близки частотам нормального распределения (рис. 4.3).

Рис. 4.3. Расстояния до ближнего соседа у живых деревьев в 184 года

Поэтому мы вправе взять для них пределы *x±2б,* где теоретически будет примерно 95% всех возможных значений этих ближних расстояний. По данным из таблицы 1 эти расстояния будут в пределах: 315±2 × 118.6 = 315 ± 237.2 см, что дает пределы 78–552 см, и они вполне соответствуют снижению частот до единичных значений за ними. А правый длинный хвост до расстояния 750 см соответствует пределу *x*+3.7*б,* что также теоретически возможно.

Вместе с тем, биологическая изменчивость, вообще говоря, не обязана подчиняться математическим формулам буквально, о чем свидетельствует отсутствие деревьев в левом хвосте распределения. Поэтому вполне может существовать некоторое «критическое» расстояние до ближнего соседа, на котором деревья отмирают к 184 годам безусловно. Такое расстояние есть, и оно занимает класс расстояний 0–50 см, где живых деревьев-соседей уже нет (см. рис. 3.3). В реальности живые деревья в 184 года встречаются на расстояниях от 84 до 790 см.

Чаще всего лесоводы объясняют отпад деревьев на близких расстояниях усиленной конкуренцией; с этим доводом обычно соглашаются, так как он

вполне соответствует парадигме. Но сила влияния этой конкуренции в количественном выражении (доля ее влияния как фактора) в таком суждении оказывается совершенно неизвестной. Исследователи обычно ограничиваются лишь перечислением ряда факторов, влияющих на преимущество в конкуренции за доступные ресурсы питания (микрорельеф, различия в почве и возрасте и т.д.), даже не пытаясь выяснить долю их влияния.

4.2. Влияние расстояния до ближнего соседа на диаметр дерева

Всего на участке «Южный» между ближними соседями у ныне живых деревьев (исключая ветровальные) было измерено 244 расстояния. Далее у каждой пары деревьев на концах этих расстояний учитывали диаметры и рассчитывали его среднее значение. Предполагалось, что с увеличением расстояний в парах средний диаметр деревьев *должен* увеличиваться. Для выяснения этого вопроса построили диаграмму (рис. 4.4).

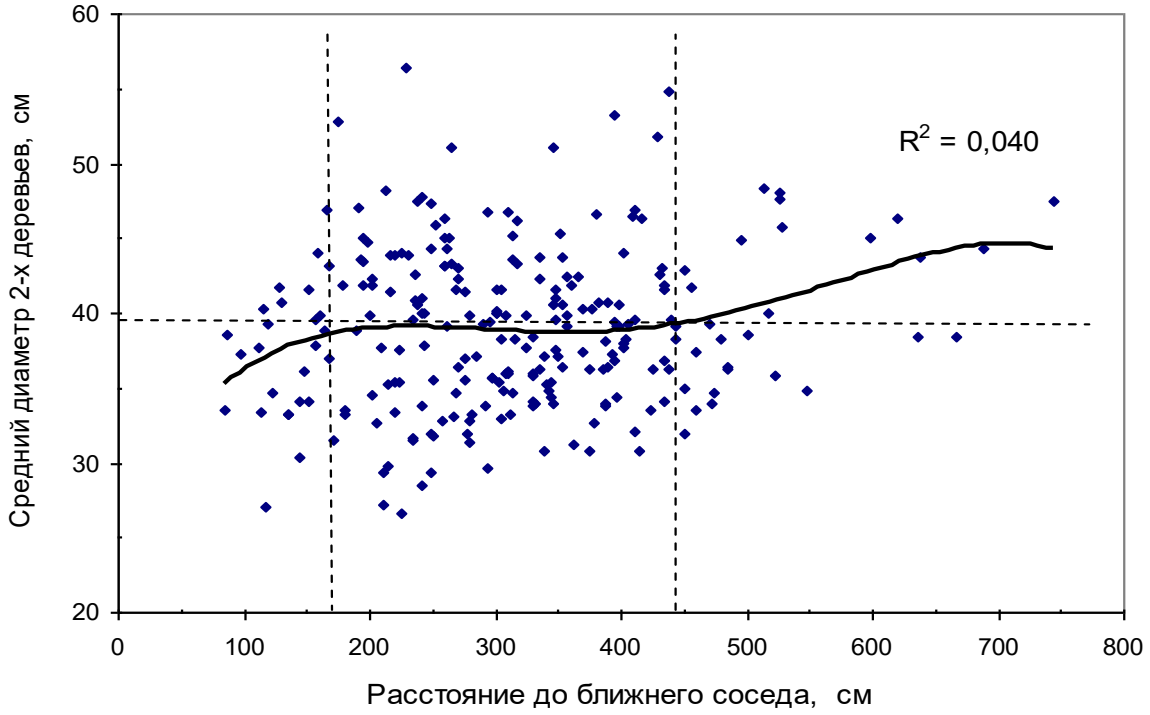


Рис. 4.4. Влияние расстояния до ближнего соседа на средний диаметр двух деревьев на концах этого расстояния. Пояснения в тексте

Оказалось, что расстояние до ближнего соседа очень слабо влияет на диаметр соседствующих деревьев ($r = 0.148 \pm 0.063$). Однако связь достоверна при $t_{факт} = 2.36 > t_{0.95} = 1.96$; при этом наибольший коэффициент аппроксимации ($R^2 = 0.04$) оказался у полинома 4-й степени. Он показывает, что сила влияния

изучаемого фактора, т.е. расстояния до ближнего соседа, на средний диаметр пары деревьев составляет всего лишь 4%.

На этой диаграмме проведены три прерывистые линии. Горизонтальная обозначает средний диаметр деревьев в древостое, а вертикальная линия слева отсекает точки, где деревья начинают заметно снижать диаметр. Между первой и второй вертикальными линиями появляются 7 самых высоких значений среднего диаметра. В среднем же тренд идет здесь почти точно по среднему диаметру. Далее на расстояниях 500–700 см диаметры увеличиваются, но среди них нет самых крупных значений. По этой диаграмме можно определить некое оптимальное расстояние в 160–440 см, где формируются все самые крупные пары деревьев (см. рис. 4.4).

Сохраним эти оптимальные параметры также и на других графиках и посмотрим, что же получится для больших и малых деревьев на отдельных диаграммах, где дополнительно покажем еще одну горизонтальную линию, отделяющую деревья с диаметрами более 50 см; такой их размер близок к критериям выделения так называемых «плюсовых» деревьев (рис. 4.5, рис. 4.6).

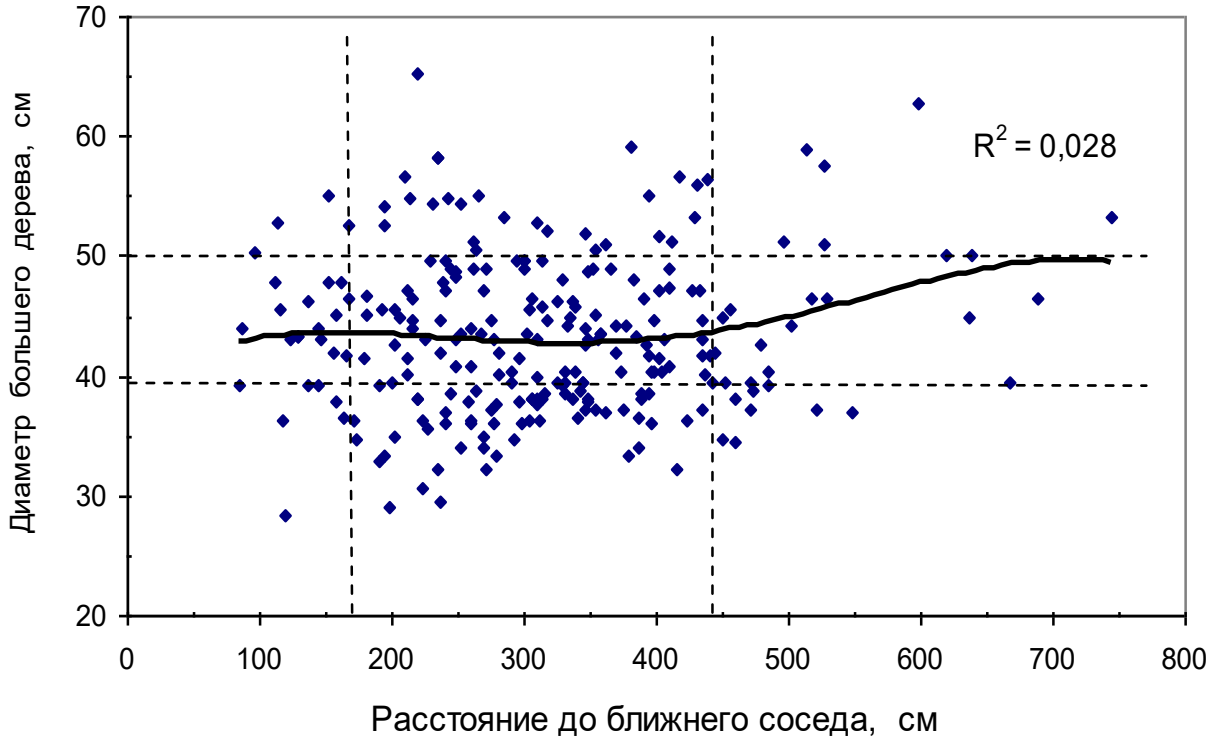


Рис. 4.5. Выборка больших деревьев из пар деревьев-соседей
и влияние на их диаметр расстояния до соседа

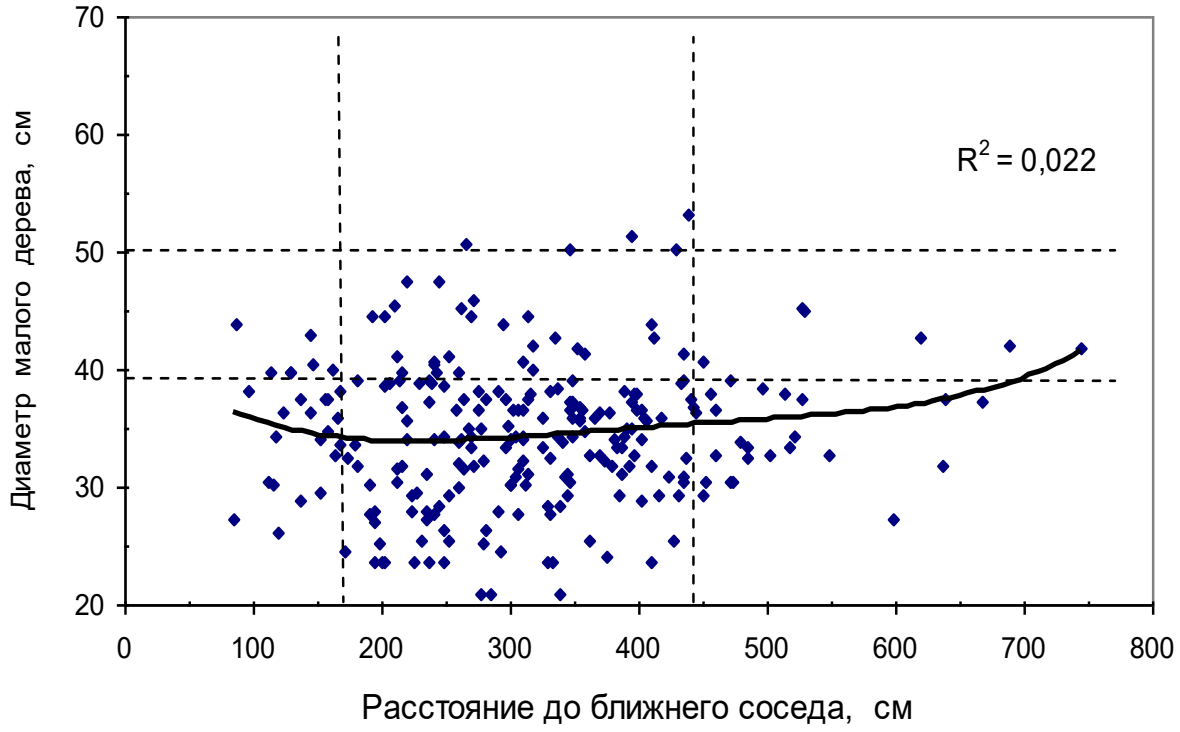


Рис. 4.6. Выборка малых деревьев из пар соседствующих деревьев и влияние на их диаметр расстояния до соседа

На диаметр большего дерева в паре расстояние влияло слабо, но достоверно ($r = 0.13 \pm 0.06$ при $t_{факт} = 2.05 > t_{0.95} = 1.96$), однако для малого дерева эта слабая корреляция была достоверна только на пониженном уровне ($r = 0.12 \pm 0.06$ при $t_{факт} = 1.92 > t_{0.90} = 1.72$). Аппроксимация для этих трендов оказалась ниже (0.022–0.028), т. е. сила влияния расстояния до ближнего соседа на диаметр отдельного дерева составила всего лишь 2.2–2.8%.

Полученные связи отражает влияние фактора расстояния в целом. Далее его можно разделить на три градации: до 160, 161–440 и 450 см и более, которые как раз и были отделены на рисунках вертикальными линиями. При таком разделении удалось выяснить, что для малых деревьев наиболее благоприятна средняя градация, где встретились все «плюсовые» деревья, тогда как в выборке из крупных деревьев они встречались во всех градациях примерно с равной частотой (14–18%). Поэтому причиной появления в средней градации наибольших средних диаметров (см. рис. 4.4) оказалось наличие «малых» деревьев в паре, имеющих в этой градации наиболее крупные размеры. Это еще раз говорит в пользу выделения этого расстояния (161–440 см) в качестве оптимального для соседствующих деревьев.

Следующим вопросом была проверка предположения о том, что чем ближе расстояние между деревьями, тем сильнее деревья *должны* отличаться

размерами. В такой постановка вопрос вполне отвечает давней идеологеме «борьбы за существование», которая должна усиливаться при сокращении расстояния между особями. Однако это оказалось не так, и расстояния между соседями совершенно не коррелировали с их различиями по диаметрам. Вместе с тем, на расстояниях более 150 см начинали встречаться самые большие (по 25–35 см) различия в диаметрах (рис. 4.7).

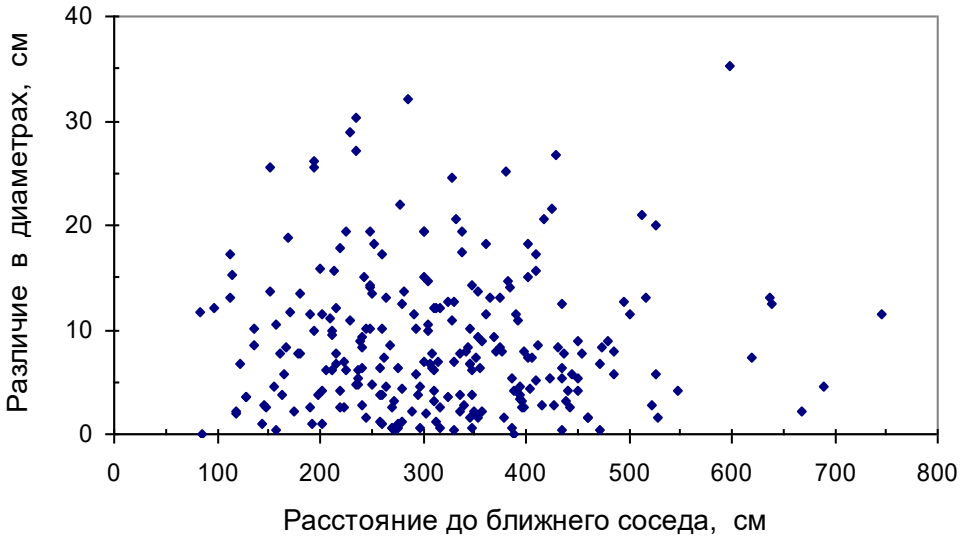


Рис. 4.7. Расстояние до ближнего соседа и различие в диаметрах соседствующих деревьев

При обсуждении полученных результатов можно сравнить их с данными специальных опытов в лесных культурах, описанных в книге коллектива авторов под редакцией И. В. Шутова «Плантационное лесоводство» [2007]. В ней говорится о том, что «многие лесоводы воспринимают как аксиому предположение о том, что лучше всего размещать деревья в культурах как можно равномернее, например, по углам квадратов и даже по углам равносторонних треугольников» [Плантационное…, с. 127]. Далее в ней показаны итоги изучения опытных культур сосны в возрасте 35 лет, созданных по схемам 2.2×2.2 м; 5.0×1.0 м; 1.5×1.5 м и 2.0×1.1 м. Сравнение этих культур, отличающихся разным индексом равномерности, но созданных с одинаковой густотой показало, что средние размеры деревьев-лидеров, к которым относили 500 и 1000 самых крупных деревьев на 1 га, отличались недостоверно. Т.е. сокращение расстояния до ближнего соседа с 2.2 до 1.0 м, т. е. в 2.2 раза, никак не повлияло на размеры крупных деревьев в 35 лет, которые являются основными носителями древесного запаса (Плантационное…, с. 133–137).

Этот опыт с плантационными культурами подтверждает наши данные о том, что крупные деревья даже при наличии деревьев-соседей на расстояниях 1.0 – 1.5 м, т.е. при нахождении в плотных биогруппах, совершенно не снижают свои размеры (см. рис. 4.5). Поэтому при рубках ухода за лесом даже при таких

малых расстояниях между хорошо развитыми деревьями считать, что они «мешают» друг другу в таких плотных биогруппах представляется совершенно бездоказательным утверждением.

Таким образом, оценка структуры 184-летнего древостоя сосны по методу расстояния до ближнего соседа показала, что это расстояние влияет на размер дерева с силой всего лишь 2.2–2.8%. Этот экспериментальный факт свидетельствует о том, что размеры соседствующих деревьев в спелом древостое определяются на 97% иными факторами, чем конкуренция с ближним деревом.

4.3. Коррелируют ли диаметры деревьев-соседей?

Цель данного раздела – выяснение корреляций между диаметрами деревьев-соседей по всему диапазону расстояний между ними.

Этот вопрос можно поставить и по-другому: влияет ли размер одного из соседствующих деревьев на размер другого дерева? Если размер второго дерева снижается при увеличении размера первого, то это будут конкурентные отношения с подавлением роста второго дерева (отрицательная корреляция). Однако если второе дерево точно также увеличивает свои размеры при увеличении размеров первого дерева, то это будут уже отношения партнерства, но никак не конкуренции в обычном ее понимании, когда один из партнеров рано или поздно начинает доминировать, а второй снижает свои размеры.

Это упрощенное понимание, но оно позволяет заострить вопрос о том, в чем же, собственно, проявляется давление конкуренции, и можно ли измерить его конечный результат на деревьях за 184-летний период их роста и чем заканчивается «борьба» за существование между соседствующими деревьями.

Расстояние между ближними соседствующими деревьями колебалось в насаждении от 84 до 790 см. Для разбиения размаха этого расстояния на градации было взято не деление на какое-то заданное число классов или на одинаковый интервал, а расстояние в ½ от теоретически среднего расстояния между деревьями, равного 5.47 м. Последнее получили из средней площади питания одного дерева в древостое как сторону квадрата для этой площади, равной 10000/334 = 29.93 м^2, где 334 – густота древостоя, шт. деревьев на 1 га.

Половина (½ часть) от полученного расстояния в 5.47 м с округлением составит 2.70 м, и это расстояние было принято как ограничивающее деревьев-соседей, которых мы отнесли к «биогруппам», т.е. к категории с наиболее сильным взаимодействием деревьев. В свою очередь биогруппы поделили на две части: с расстоянием 84–170 см (плотные биогруппы) и 171–270 см

(обычные биогруппы). Затем оставшийся промежуток 271–790 см разделили еще на три интервала: 271–350 см, 351–450 см и 451–790 см с расчетом, чтобы в первых двух из них оказались выборки примерно одинаковые по объему.

Деревья-соседи соединяли на карте линиями, после чего получали цепочки взаимодействующих деревьев, которые обозначали отдельно по каждой градации расстояний на слоях карты в программе ArcGIS (шейп-файлов). Всего на пробной площади было измерено 479 расстояний между ближними соседями. Цепочки взаимодействующих деревьев для биогрупп и для градации 271–350 см показаны ниже, где у каждого дерева находился свой ближний сосед, и многие деревья выступали в этом качестве два, и даже 3-4 раза. Например, в правом верхнем углу рисунка есть скопление из 8 деревьев, где было получено 7 искомых расстояний до ближнего соседа (рис. 4.8).

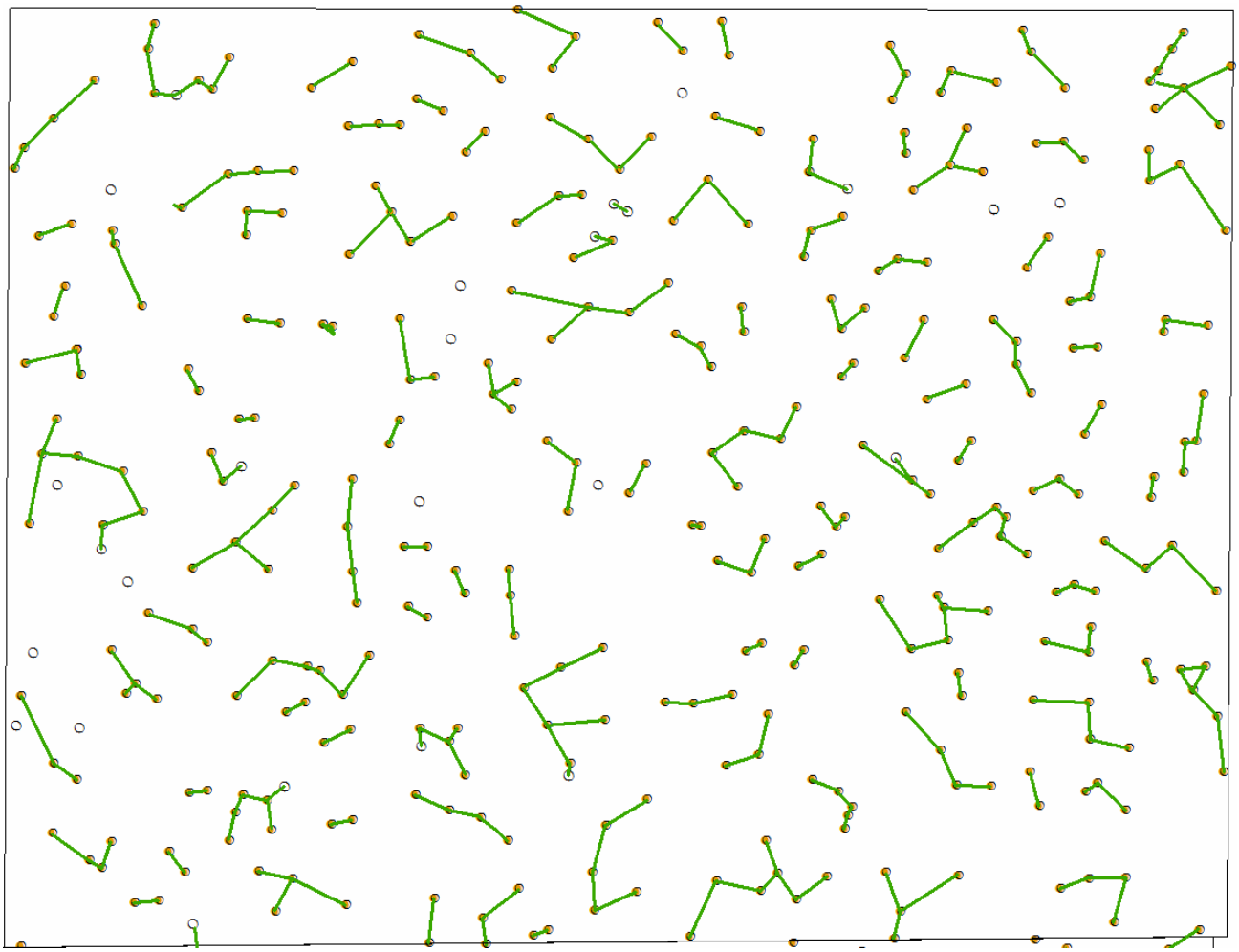


Рис. 4.8. Ближние соседствующие деревья на расстояниях 84–350 см на площади 1.11 га, участок «Северный»; пустые овалы – деревья, вываленные ветром 14 лет назад

По этому участку глазомерно можно оценить, что равномерно размещены отнюдь не деревья, а их кластеры, т.е. скопления деревьев-соседей и они, по-

видимому, могут быть некими единицами структуры древостоя! Но как эту равномерность выразить языком математики – нам пока совершенно неясно.

По всему массиву сосны между 735 деревьями было учтено 479 ближних расстояний. Среднее расстояние до ближнего соседа по всему массиву составило 332±6 см при вариации 38.2 %, минимуме 84 см и максимуме 790 см. На участке «Северный» соседи располагались в среднем на расстоянии в 350 см друг от друга, а на участке «Южный» в 315 см.

Корреляции деревьев-соседей рассчитывали после ранжирования их диаметров, т.е. на первое место в паре ставили дерево с большим, а на второе – с малым диаметром. Получили следующие данные (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Соседствующие деревья и корреляция (r) диаметров крупного дерева с его малым соседом

Расстояние между соседями, см	Участок «Южный»			Участок «Северный»			Оба участка		
	n, шт.	r	ошибка r	n, шт.	r	ошибка r	n, шт.	r	ошибка r
84 - 170	27	0,31*	0,17	24	0,67	0,11	51	0,48	0,11
171 - 270	67	0,53	0,09	45	0,55	0,10	112	0,54	0,07
271 - 350	65	0,26	0,12	56	0,67	0,07	121	0,45	0,07
351 - 450	57	0,46	0,10	57	0,54	0,09	114	0,50	0,07
451-800	28	0,34	0,17	53	0,23*	0,13	81	0,27	0,10
Общее	244	0,429	0,052	235	0,509	0,048	479	0,463	0,036
В том числе для 84-450 см	216	0,441	0,055	182	0,589	0,048	398	0,520	0,037

0,31* - корреляция недостоверна

Рассмотрим полученные коэффициенты корреляции по участкам. На участке «Южный» на расстоянии между деревьями 84–800 см он составил 0.509, а на участке «Северный» – 0.429, однако различия оказались недостоверными ($t_{факт.} = 1.12 < t_{0,90} = 1.66$). В то же время, в совокупной выборке для всего массива в целом, в диапазоне расстояний 84–450 см его значение удерживалось практически на одном уровне 0.51–0.54, чего нельзя сказать о выборках по участкам, где корреляции достоверно различались в перовой и третьей градации расстояний между соседями (84–170 и 271–350 см); в остальных случаях они оказались близкими (рис. 4.9).

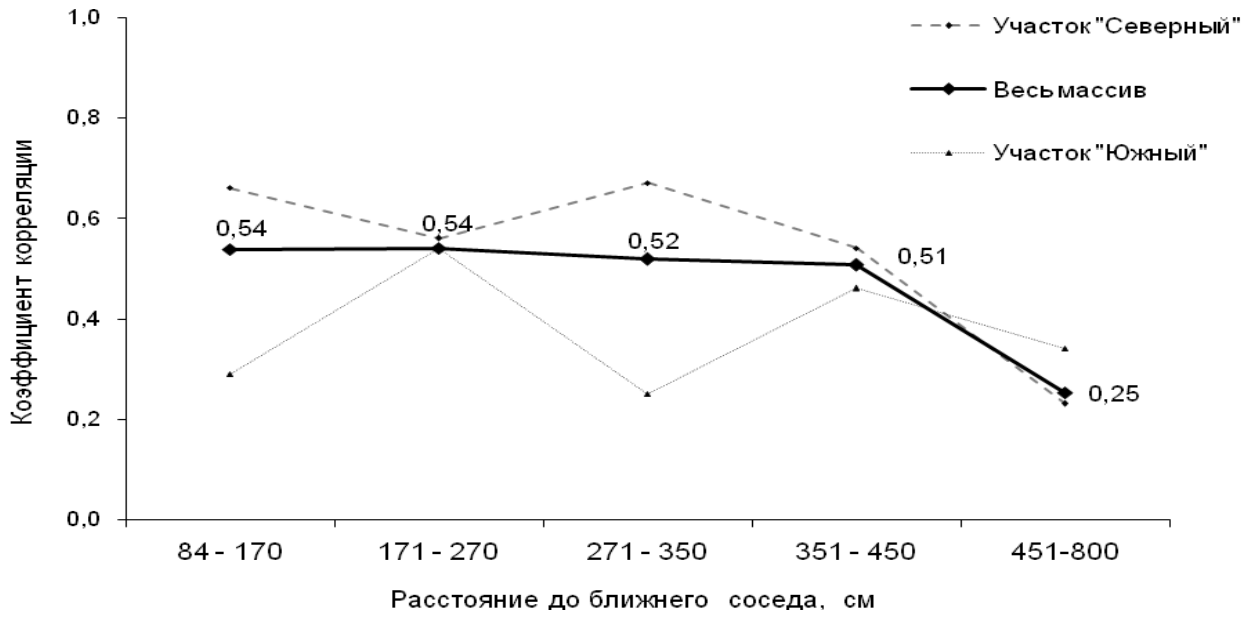


Рис. 4.9. Корреляции между диаметрами крупного и малого дерева у соседствующих деревьев

Резкое и синхронное падение коэффициентов корреляции между диаметрами соседствующих особей свидетельствует о снижении их взаимовлияния, которое началось при расстоянии, превышающем 450 см. Это во многом согласуется с результатами работ В.Н. Шанина [2015] о дальности распространения корней деревьев. Напомним, что участок «Южный» имеет несколько большую сухость почвы и густоту, которые могли, как можно предполагать, ослабить корреляцию между диаметрами. Уверенно же утверждать это мы пока не можем, однако факты – вещь упрямая, и их надо как-то объяснять (или давать варианты объяснения). Подобных сведений в литературе нет, и наши данные по корреляциям диаметров в парах соседствующих деревьев являются пока единственными и рассматриваются, по-видимому, вообще впервые. Во всяком случае, подобного анализа конкурентных отношений в отечественной литературе мы не встретили, хотя имеются уникальные исследования по структуре древостоев, проведенные на Урале [Нагимов, 2000; Усольцев, 2013] и в Поволжье [Демаков, Сафин, 2008; Демаков, Медведкова, 2009; Демаков, Исаев, 2009; Демаков, Сафин, Нехаев, 2011; Демаков, 2018], а также целый ряд работ, так или иначе затрагивающих конкуренцию и влияние густоты микроценозов на рост деревьев [Assmann, 1961; Pollanschuetz, 1971: Antanaitis, !971; Поляков, 1973; Кайрюкштис, Юодвалькис, 1976; Чудный, 1976; Тябера, 1980; Бузыкин и др., 1983; Секретенко, 1984; Schafer, 1992; Nagel, 1994; Марченко, 1995].

4.4. Корреляция диаметров деревьев как свидетельство отношений партнерства

Так как изучаемые корреляции пар деревьев-соседей на участках «Южный» и «Северный» различаются не очень сильно, то их можно объединить. Связь диаметров соседствующих деревьев при разном расстоянии между ними показывают следующие диаграммы (рис. 4.10).

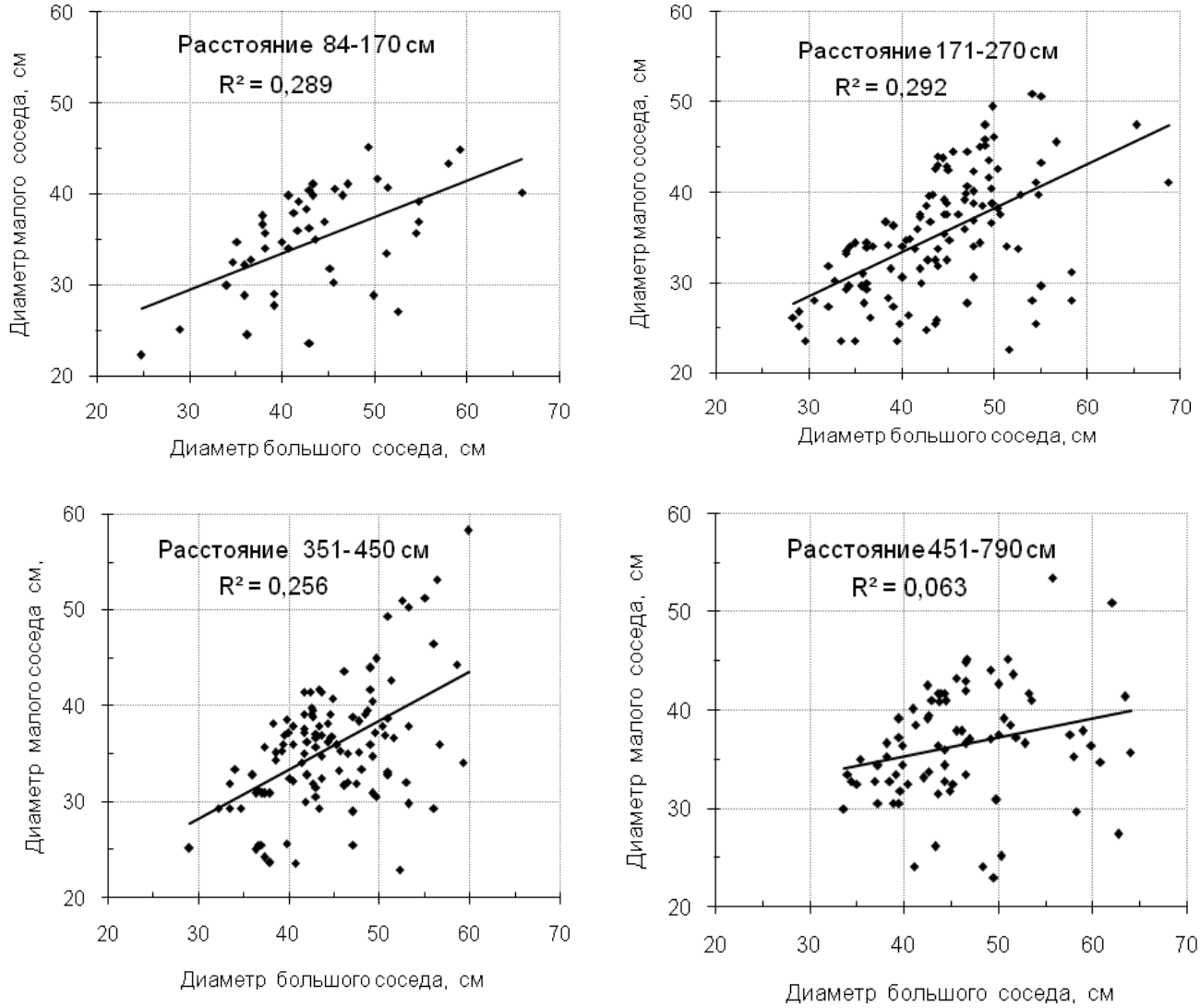


Рис. 4.10. Связь между диаметрами соседствующих деревьев при расстоянии между ними от 84 до 790 см.

Здесь значения аппроксимаций линейных связей (R^2) в градациях расстояний между деревьями от 84 до 450 см колебались в довольно узких пределах от 0.256 до 0.292 и в среднем составили R^2 = 0.276. Эту величину можно использовать для оценки силы влияния соседствующих деревьев на

расстоянии 84–450 см. Далее этого расстояния «сила влияния» соседей ослабевает до $R^2 = 0.063$.

«Силу влияния» большего дерева в паре на малое можно узнать также по коэффициенту детерминации, который рассчитывают через квадрат корреляции (r^2). На общем соседствующем расстоянии между деревьями 84–450 см искомая корреляция была равна $r = 0.520$, откуда $r^2 = (0.52)^2 = 0.27$, что практически совпадает с ее средней оценкой по $R^2 = 0.276$.

Слова «сила влияния» взяты в кавычки здесь не случайно. Дело в том, что на размеры обоих деревьев одновременно влияет, скорее всего, некий другой и пока неизвестный абиотический фактор, и именно он приводит к согласованному увеличению или уменьшению размеров деревьев. Корреляция лишь фиксирует, что между диаметрами есть линейная связь, а коэффициент R^2 показывает долю их взаимной обусловленности или, проще, «силу влияния» диаметра одного дерева на диаметр другого. Заметим, что выражение «сила влияния» упрощает это сложное явление и описывает только то, что видно на графике (мы будем употреблять это выражение для краткости); в реальности же имеет место и взаимное влияние, и влияние пока неучтенных факторов. Уровень этой связи между диаметрами при $R^2 = 0.276$ с корреляцией $r = 0.52$ внушает оптимизм, хотя и непонятны причины, почему они коррелируют и почему вообще это происходит. Мы не замечали вблизи пар соседствующих деревьев явных признаков богатой или бедной почвы, ориентируясь на напочвенный покров, а также микроповышений и понижений, которые могли хотя бы частично объяснить такую взаимосвязь. Возможно в тех местах, где диаметры деревьев сопряжены особенно сильно, причина будет в литологии и других локальных геологических особенностях территории, скрытых под песчаными наносами террасы р. Кама, мощность которых достигает в нашем случае 10–15 м. Но это будет всего лишь одно из возможных объяснений.

Далее 450 см теснота связи между размерами деревьев резко ослабевает, но полностью не исчезает и остается достоверной при аппроксимации $R^2 = 0.063$ (см. рис. 4.10) и корреляции 0.27 (см. табл. 4.2), что говорит о продолжающемся взаимном влиянии диаметров деревьев с силой в 6.3 %. Конечно, влияние слабее в 4.4 раза в сравнении с влиянием на более близком расстоянии, но оно есть, и пока совершенно не ясны факторы, вызывающие такое сопряжение диаметров деревьев-соседей. Можно только предполагать, какими они будут. Но еще важнее определить их количественные характеристики, иными словами, силу влияния этих факторов в конкретном микроценозе, используя для этого независимые переменные величины в виде

расстояний до соседей и простые полигоны питания, обоснование для применения которых мы подробно рассматривали выше, а также описывали ранее [Рогозин, 2018-*а*, 2018-*б*].

В работе Ю.П. Демакова с соавторами [Демаков и др., 2013] были обозначены три основных причины появления неоднородностей в структуре ценоза, о которых мы уже говорили выше и одна из них (биогеоактивные зоны) впервые была предложена еще в 1973 г. [Марченко, 1973]. Исследования в этом направлении, продолжавшиеся более 20 лет, позволили последнему автору выдвинуть восемь (!) новых направлений исследований по изучению взаимоотношений между деревьями [Марченко, 1995]. Все они оказались весьма необычны и настолько выбивались из принятых в лесоведении норм, что до сих пор никто еще не отважился ими воспользоваться. Вполне возможно, что «просвечивание» глубинных слоев почвы с помощью современных георадаров позволит найти этот фактор в литологии и приблизить нас к разгадке причин столь разной продуктивности микроценозов в кажущихся однородными условиях. Возможно, в этом помогут и новейшие способы радиотомографии [Доржиев и др., 2016], а также исследования малых геоактивных зон [Рогозин, 2016].

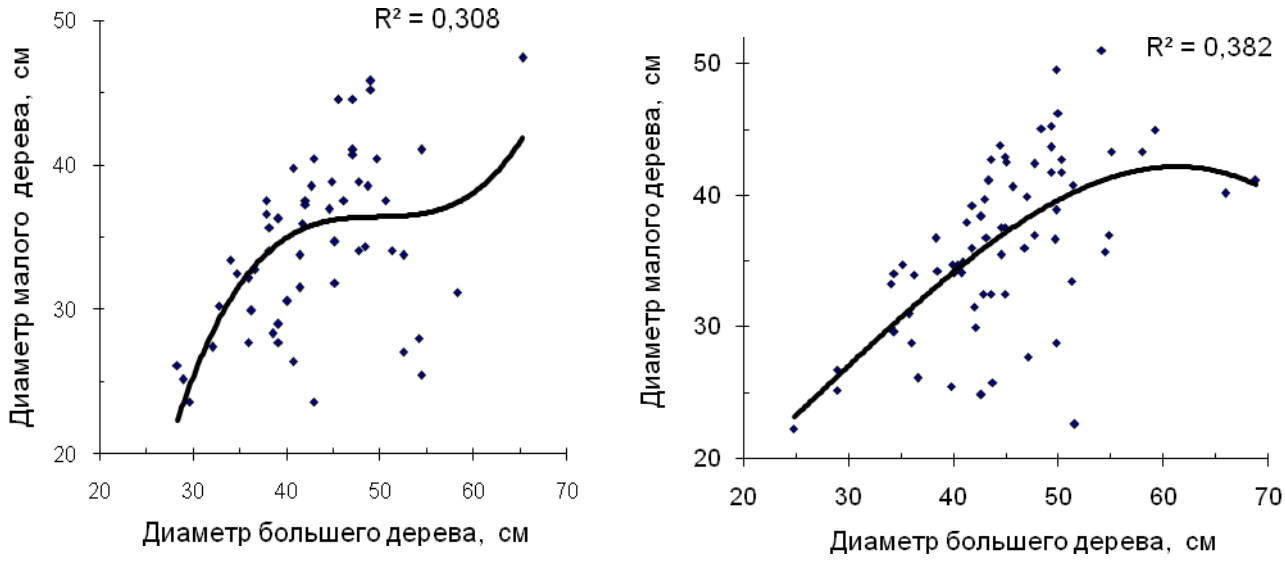
Таким образом, обнаруженные корреляции диаметров деревьев-соседей весьма необычны, и требует каких-то объяснений, причем не просто предположений о сходстве или различии микроусловий, одном возрасте соседей, условий увлажнения, литологии мест, где растут пары деревьев и т.д., а подтверждаемых измерениями.

Как-то измерить эти факторы трудно и пока можно лишь констатировать следующее. Наряду с конкуренцией в спелых древостоях сосны существует явление, которое можно назвать «партнерством» соседствующих деревьев. Оно подтверждается достоверными корреляциями среднего уровня и взаимной обусловленностью их диаметров в 27%. Вместе с тем согласованное снижение или повышение диаметров деревьев-соседей может быть вызвано также «фактором места», т.е. благоприятными или неблагоприятными местами на территории биотопа размером до 4.5 м, природа которых пока остается неизвестной.

Как видим, результаты наших исследований структуры соснового леса в аспекте партнерства деревьев не столько дают ответы, сколько рождают новые вопросы для исследований.

4.5. Партнерство деревьев в парных биогруппах

Для чистоты опыта с парным взаимодействием деревьев и вычленения действительно только двух деревьев-соседей далее мы выделили только те биогруппы, которые состояли исключительно из двух деревьев, когда рядом находились другие деревья на значительно более дальних расстояниях, чем в биогруппе. Результаты сопоставления диаметров в этих парах деревьев показаны ниже с обозначением линий тренда для полиномов 3-й степени и показателей их аппроксимации (рис. 4.11).



а *б*

Рис. 4.11. Связь между диаметрами сосны в биогруппах, состоящих из двух деревьев: *а* – участок «Южный»; *б* – участок «Северный»

На участке «Южный» оказалось, что диаметры деревьев в таких биогруппах связаны между собой корреляцией r = 0.465. Если же связь показать как полином 3-й степени, то ее аппроксимация (R^2=0.308) на рисунке 4.11будет объяснять 30.8% взаимной детерминации диаметров. Однако своеобразие тренда с плавными перегибами не стоит переоценивать и приводить формулу – тренд сильно меняется при очистке выборки. Так, если убрать 5 точек (9%), образующих что-то похожее на кластер внизу справа и сильно отклоняющихся от основного облака точек (см. рис. 4.11-а), то связь повышается до среднего уровня при r = 0.73, а ее аппроксимация сразу возрастает до R^2 = 0.554.

На участке «Северный» (рис. 4.13-б) корреляция диаметров оказалась выше и была равна r = 0.580 при среднем значении R^2 = 0.382 по полиномам степеней 3, 4, 5 и 6. При очистке выборки от четырех уклоняющихся значений (5.8% от объема выборки) корреляция также возрастала до среднего уровня, при r = 0.70 и R^2 = 0.494. Такого рода очистку выборок иногда применяют для усиления связей и получения более выравненных данных. И при связях среднего уровня в таксации рассчитывают весьма важные показатели, например, известное определение высоты древостоя по трем средним деревьям.

Поэтому рассмотрим полученные связи подробнее, тем более, что явление взаимной детерминации диаметров в биогруппах обнаружено впервые. Приведем перечень деревьев с сортировкой по возрастанию диаметров по графе крупного дерева, без всякой очистки выборки от уклоняющихся значений, с указанием расстояний между деревьями (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Биогруппы на участке «Южный» с сортировкой по диаметру

Номер пары	Диаметры		Расстояние, см	Номер пары	Диаметры		Расстояние, см	Номер пары	Диаметры		Расстояние, см
	max, см	min, см			max, см	min, см			max, см	min, см	
1	28,3	26,1	211	21	40,8	39,8	115	41	47,8	38,8	265
2	29,0	25,2	118	22	40,8	26,4	181	42	47,8	34,1	236
3	29,6	23,6	226	23	41,4	33,7	223	43	48,4	34,4	216
4	32,2	27,4	214	24	41,4	31,5	271	44	48,7	38,5	193
5	32,8	30,2	171	25	41,7	36,0	164	45	49,0	45,2	191
6	34,1	33,4	241	26	42,0	37,2	234	46	49,0	45,8	237
7	34,7	32,5	84	27	42,0	37,6	200	47	49,7	40,4	260
8	36,0	32,2	152	28	42,7	38,5	238	48	50,6	37,6	225
9	36,0	27,7	251	29	43,0	40,4	128	49	51,3	34,1	236
10	36,3	29,9	267	30	43,0	23,6	136	50	52,5	27,1	161
11	36,6	32,8	123	31	44,6	36,9	129	51	52,5	33,7	259
12	37,9	37,6	112	32	44,9	38,8	202	52	54,1	28,0	241
13	37,9	36,6	97	33	45,2	34,7	241	53	54,4	41,1	242
14	38,2	35,7	167	34	45,2	31,8	86	54	54,4	25,5	244
15	38,2	34,1	147	35	45,5	44,6	263	55	58,3	31,2	198
16	38,5	28,3	220	36	45,5	44,6	194	56	65,3	47,4	229
17	39,2	29,0	144	37	46,2	37,6	179				
18	39,2	27,7	113	38	47,1	44,6	252	***n***	***56***	***56***	***56***
19	39,2	36,3	209	39	47,1	40,8	216	***x***	***43,5***	***35,0***	***193***
20	40,1	30,6	223	40	47,1	41,1	158	***±б***	***7,25***	***6,00***	***52,8***

Представленные выше на рис 4.11 корреляции обычны при анализе двух каких-либо связанных величин, но для неискушенных читателей такая интерпретация связи пар деревьев может быть не совсем понятна. Поэтому сделаем столбчатую диаграмму и покажем пары деревьев рядом, расположив

их в том же порядке, что и в таблице, т.е. по возрастанию диаметра у более крупного дерева. Оказалось, что малые партнеры ощутимо увеличивают свои диаметры по мере увеличения диаметра их крупного соседа, и в 12 случаях (21%) они вырастают даже крупнее среднего диаметра (рис. 4.12).

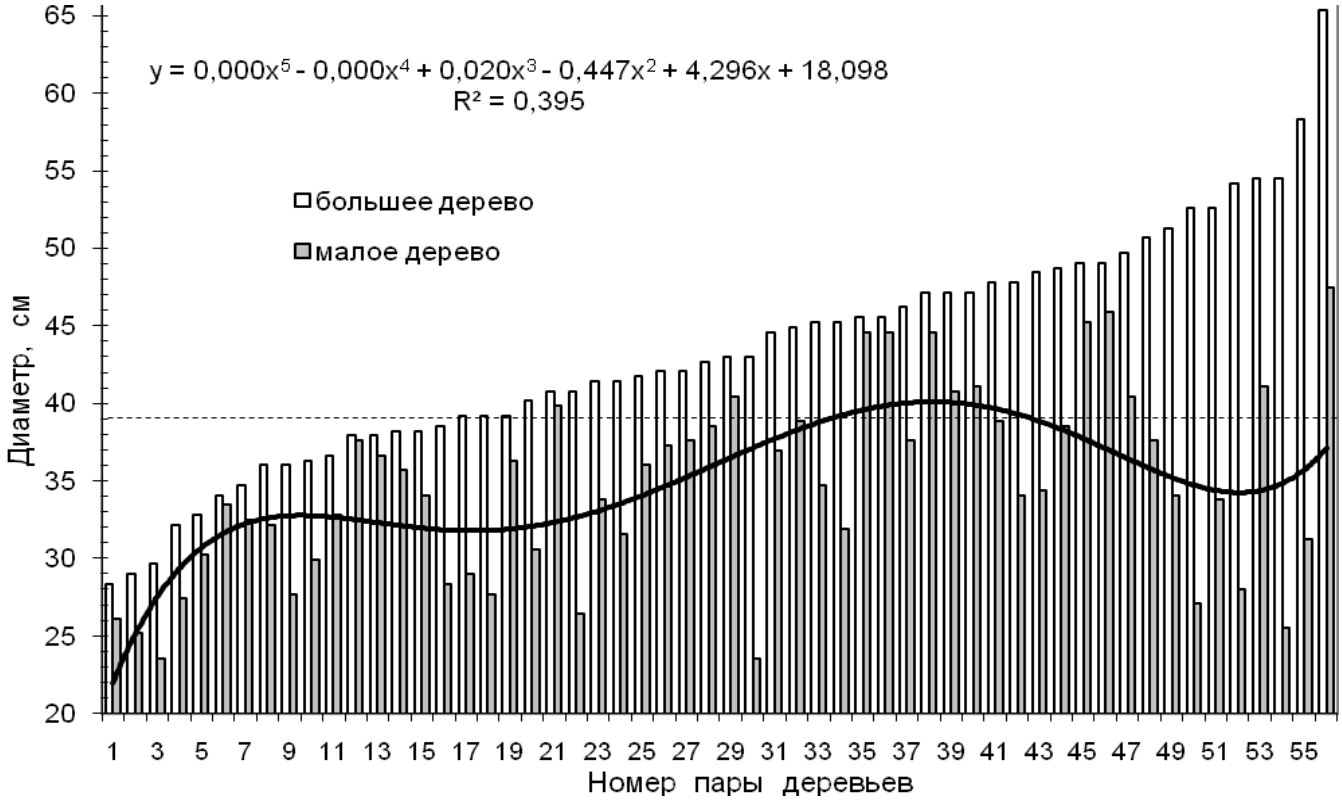


Рис. 4.12. Диаметры деревьев в 56 биогруппах из 2-х особей, участок «Южный»: прерывистая линия – средний диаметр древостоя

Похожая картина наблюдается и на участке «Северный», где связь между диаметрами оказалась несколько выше (r = 0.58 против r = 0.465 на участке «Южный»). Линия тренда для малых деревьев здесь поднимается с лучшим соответствием к диаметрам их крупных партнеров. Среди малых деревьев здесь уже 25% из них оказались с размерами выше среднего (рис. 4.13).

Оценивая информативность показанных диаграмм отмечаем, что последние две показывают динамику размеров деревьев в более привычной форме, а также дают представление о колебаниях диаметров у малых деревьев. В то же время первые две точечные диаграммы (см. рис. 4.11 *а, б*) показывают картину рассеивания точек от линии тренда и возможную форму связи; на них хорошо видны сильно отклоняющиеся от линии тренда точки и их кластеры, которые на столбчатых диаграммах совершенно не проявляют себя.

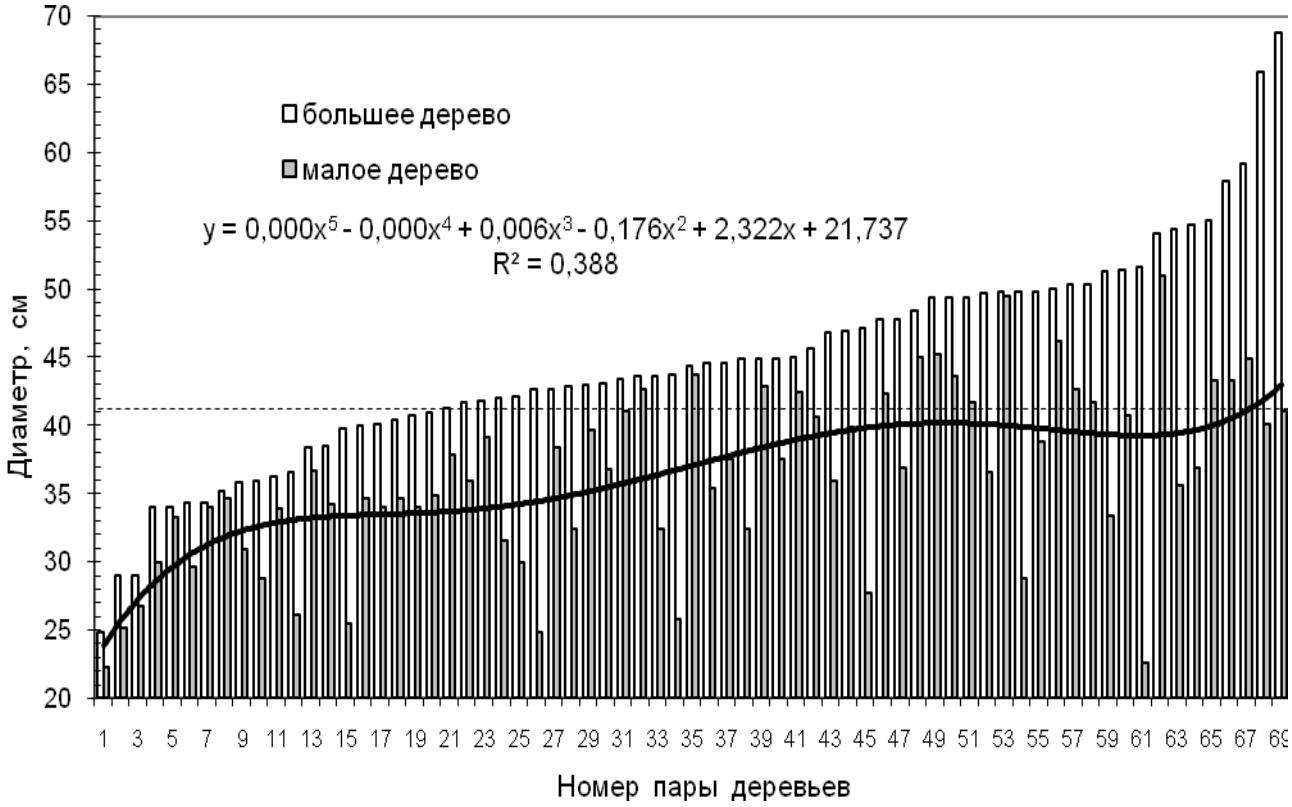


Рис. 4.13. Диаметры деревьев в 69 биогруппах на участке «Северный»: прерывистая линия – средний диаметр древостоя

Как первые, так и вторые типы диаграмм раскрывают разные стороны явления взаимной детерминации размеров деревьев в биогруппах, которое для сосны обыкновенной обнаружено впервые и поэтому столь детально было описано здесь с разных точек зрения и разными методами анализа.

4.6. Деревья с «дальними» соседями и плюсовые деревья, или как сосна распорядилась увеличением расстояния до соседей

Такие деревья были выбраны в некотором роде как контроль по отношению к деревьям, растущим в биогруппах.

Расстояние до ближних деревьев-соседей, а также площадь питания дерева давно используют как факторы, отражающие конкурентное взаимодействие между деревьями. В настоящее время доказано, что при увеличении этого расстояния выше некоторой величины деревья используют его уже не эффективно. Подразумевается, что дерево в конкурентной борьбе завоевывает себе жизненное пространство или область доминирования. В связи с этим важно выяснить, чем же закончилось это жизненное соревнование и с какой пользой для себя деревья использовали доставшееся им увеличенное расстояние до соседей к спелому возрасту.

Целью данного раздела было выяснение двух вопросов:

- определить, какими получились деревья, сформировавшиеся на более дальних расстояниях от соседей;

- где оказались размещены наиболее крупные деревья древостоя (плюсовые деревья или деревья-лидеры).

Для нахождения таких более свободных деревьев мы провели довольно жесткий отбор. Прежде чем приступить к анализу интересующих нас деревьев, необходимо пояснить некоторые особые методические подходы к их выбору. Этот выбор был связан с наличием четырех слоев (шейп-файлов) карты, где деревья были соединены цепочками взаимодействия по четырем градациям.

Напомним, что расстояние между деревьями колебалось в насаждении от 0.84 до 14.0 м. Для разбиения размаха этого расстояния на градации было взято не деление на какой-то заданный и одинаковый интервал, а расстояние в ½ от теоретически среднего расстояния между деревьями, равного 5.47 м. Последнее получили из средней площади питания одного дерева в древостое как сторону квадрата для этой площади, равной 10000/334 = 29.93м^2, где 334 – густота древостоя, шт. деревьев на 1 га. Половина (½ часть) от полученного расстояния в 5.47 м с округлением составит 2.70 м, и это расстояние было принято как ограничивающее деревьев-соседей, которых мы отнесли к «биогруппам», т. е. к категории с наиболее сильным взаимодействием деревьев.

Кроме среднего расстояния между деревьями, равного здесь 5.47 м и полученного как сторона квадрата из средней площади питания дерева (величина, обратная густоте древостоя), которое послужило ориентиром для разделения расстояний на 4 градации и составления слоев карты, при изучении структуры древостоев используют также расстояние до ближнего соседа. Среднее значение этого расстояния составило 3.32±0.06 м, при минимуме 0.84 и максимуме 7.90 м. Поэтому в качестве увеличенного расстояния до соседей мы использовали заведомо большее расстояние, чем «среднее ближнее расстояние», и приняли его равным 3.71 м и более, с которого начинался третий слой карты. Первые два слоя карты с цепочками взаимодействующих на более близких расстояниях деревьев показаны на рисунке, где сразу становятся видны деревья, расположенные более свободно (рис. 4.14).

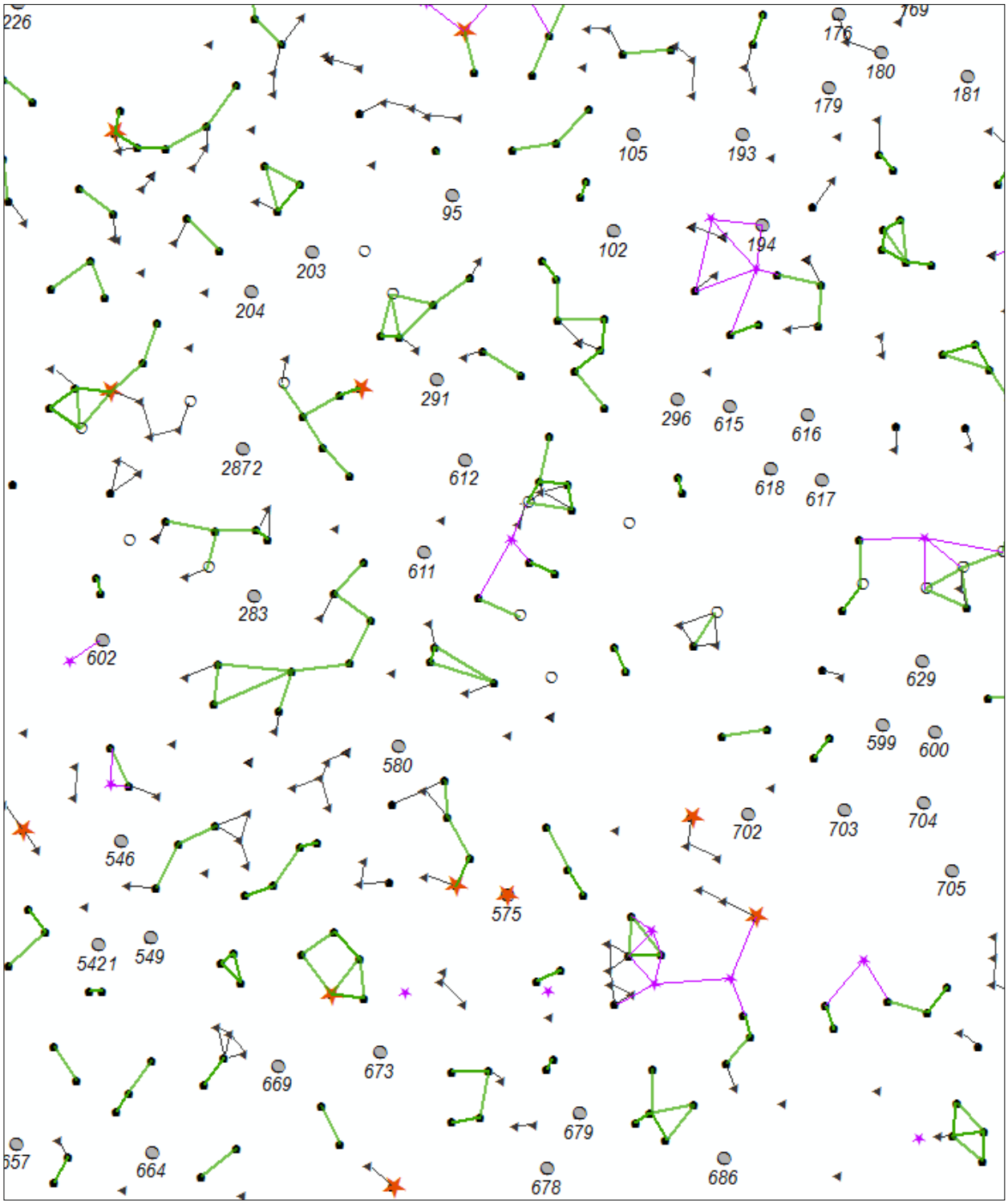


Рис. 4.14. Деревья «с дальними соседями» (указаны номера) в западной части участка «Южный»: треугольные точки – отпавшие за последние 60 лет деревья, пустые овалы – деревья, вываленные 14 лет назад; линии соединяют деревья с расстоянием до 3.7 м; фиолетовые звезды и линии – ель от 20 см и ее связи; красные звезды – деревья с превышением диаметра на 30%

На участке «Южный» из таких относительно свободно растущих деревьев была сформирована выборка из 62 шт. деревьев. Вблизи них обычно наличествовал один-два соседа на среднем расстоянии в 3.71–6.0 м. В

результате были выбраны деревья, которые примерно 60 лет назад, начиная с возраста 120 лет, испытывали меньшее конкурентное давление со стороны соседей, находясь чаще всего вблизи окон и небольших прогалин, на которых вполне могли бы поместиться еще несколько деревьев (рис. 4.15).

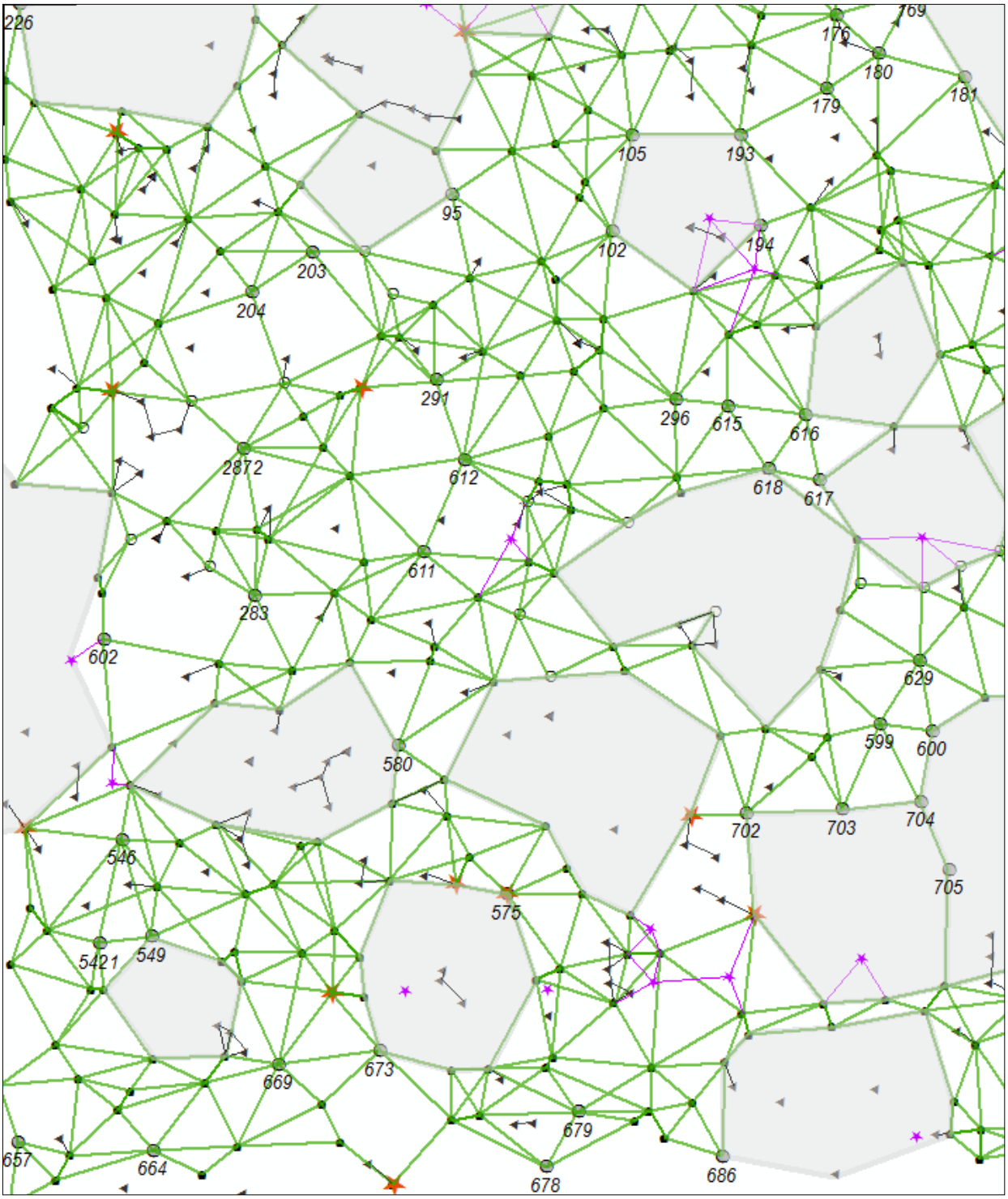


Рис. 4.15. Та же схема, что и на рис. 1, но уже со всеми уровнями взаимодействия (соединены деревья с расстояниями между ними до 8.7 м); затемнены прогалины с расстоянием между деревьями от 8.8 до 14.0 м

По большему расстоянию до соседей у выбранных деревьев можно оценить их площадь питания как значимо большую, чем ее среднее значение (именно для этого их и отбирали). Их перечень приводится ниже (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Деревья с дальними соседями на участке «Южный»

№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см
95	42,7	305	34,4	599	36,6	664	43,0
102	43,0	307	33,4	600	51,6	669	29,0
105	31,2	314	40,4	602	39,2	678	38,8
175	56,0	315	34,1	611	36,9	679	30,6
176	30,9	316	59,2	612	47,1	686	30,6
179	30,6	350	32,5	615	36,0	702	42,7
180	37,3	358	29,3	616	44,3	704	36,9
181	39,5	485	36,0	617	36,0	703	37,9
183	47,1	503	57,6	618	32,8	705	32,8
193	46,5	506	31,8	629	50,9	2872	34,4
194	41,4	535	49,0	640	56,4	5421	37,3
203	37,9	536	43,9	642	33,4		
204	43,3	538	50,3	646	47,4	*n*	62
276	36,6	546	36,3	647	31,8	*x*	40,31
291	36,3	549	41,7	648	42,7	*±б*	7,64
296	40,4	575	55,1	649	50,0		
283	44,6	580	41,4	657	40,8		

Примечание: затемнены ячейки с диаметрами выше среднего

Как видим из таблицы, 31 дерево (50%) эффективно использовали доставшееся им увеличенное расстояние до соседей и сформировали стволы с диаметрами выше среднего в промежутке от 120 до 184 лет (данными о более ранней густоте мы не располагаем).

Результаты их сравнения со всеми остальными деревьями приведены еще в одной таблице, из которой следует, что средний диаметр сосны в выборке с дальними соседями увеличился на 3.7 % в сравнении с остальными, что оказалось, однако, недостоверно при $t = 1.37 < t_{0.95} = 2.0$ (табл. 4.5).

Таблица 4.5. Деревья с дальними соседями на участке «Южный»

Выборки	Статистики для диаметра дерева						Диаметр, %	Различие, критерий t
	n	*x*	*±б*	*±m*	*min*	*мах*		
1. Деревья с дальними соседями	62	40,31	7,64	0,97	29,0	59,2	103,7	-
2. Остальные деревья	314	38,9	7,65	0,43	21,0	65,3	100,0	1,37
3. Все деревья на участке	376	39,09	7,67	0,40	21,0	65,3	103,1	1,16

Из всего изложенного следует, что если более дальнее расположение соседей свидетельствуют об ослаблении конкуренции, то на участке «Южный» эти факторы не привели к увеличению их размеров.

На участке «Северный» деревья с дальними соседями располагались похожим образом (рис. 3.18, рис. 4.16).

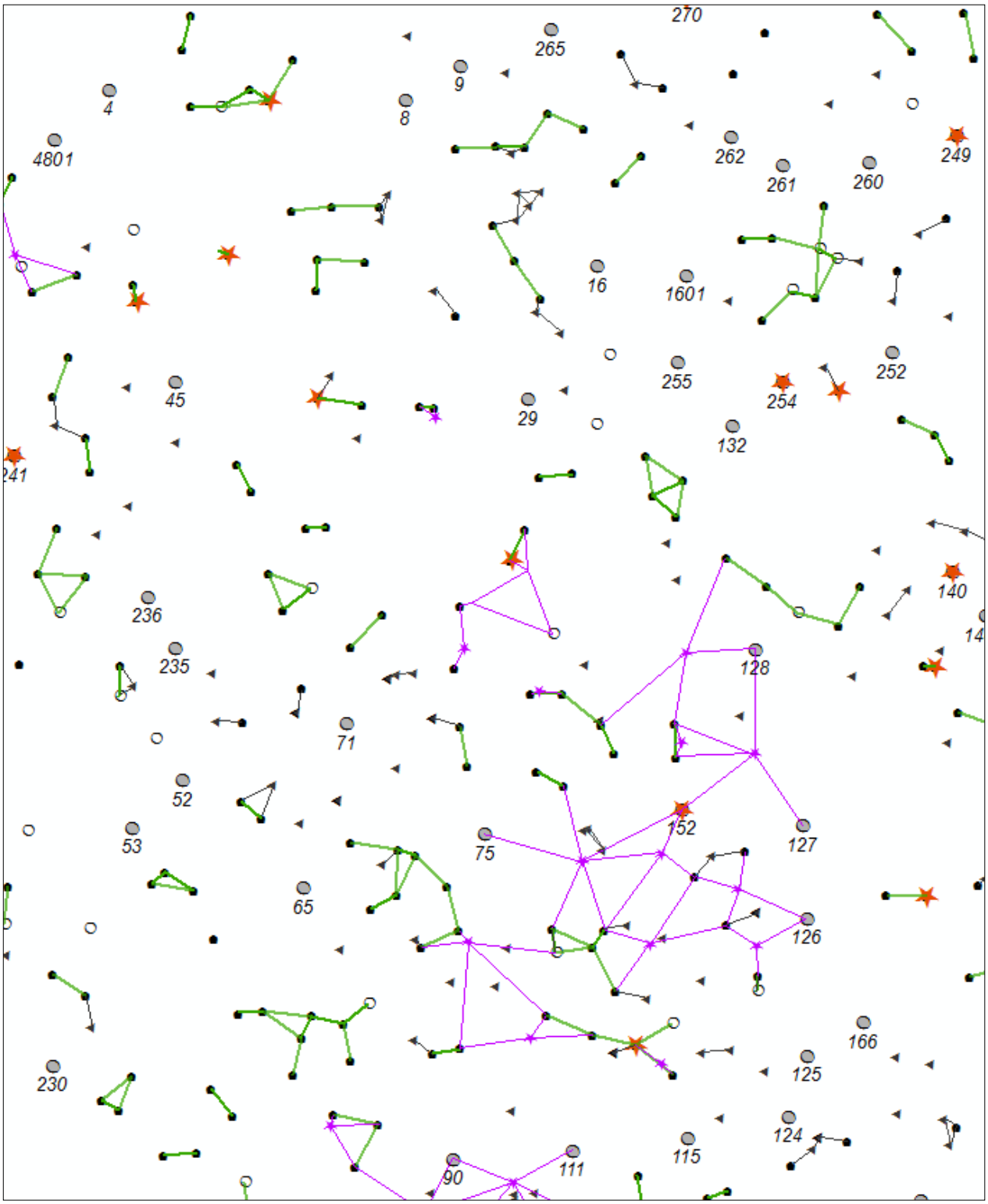


Рис. 4.16. Деревья «с дальними соседями» (указаны номера) в западной части участка «Северный». Обозначения те же, что и на рис. 4.15

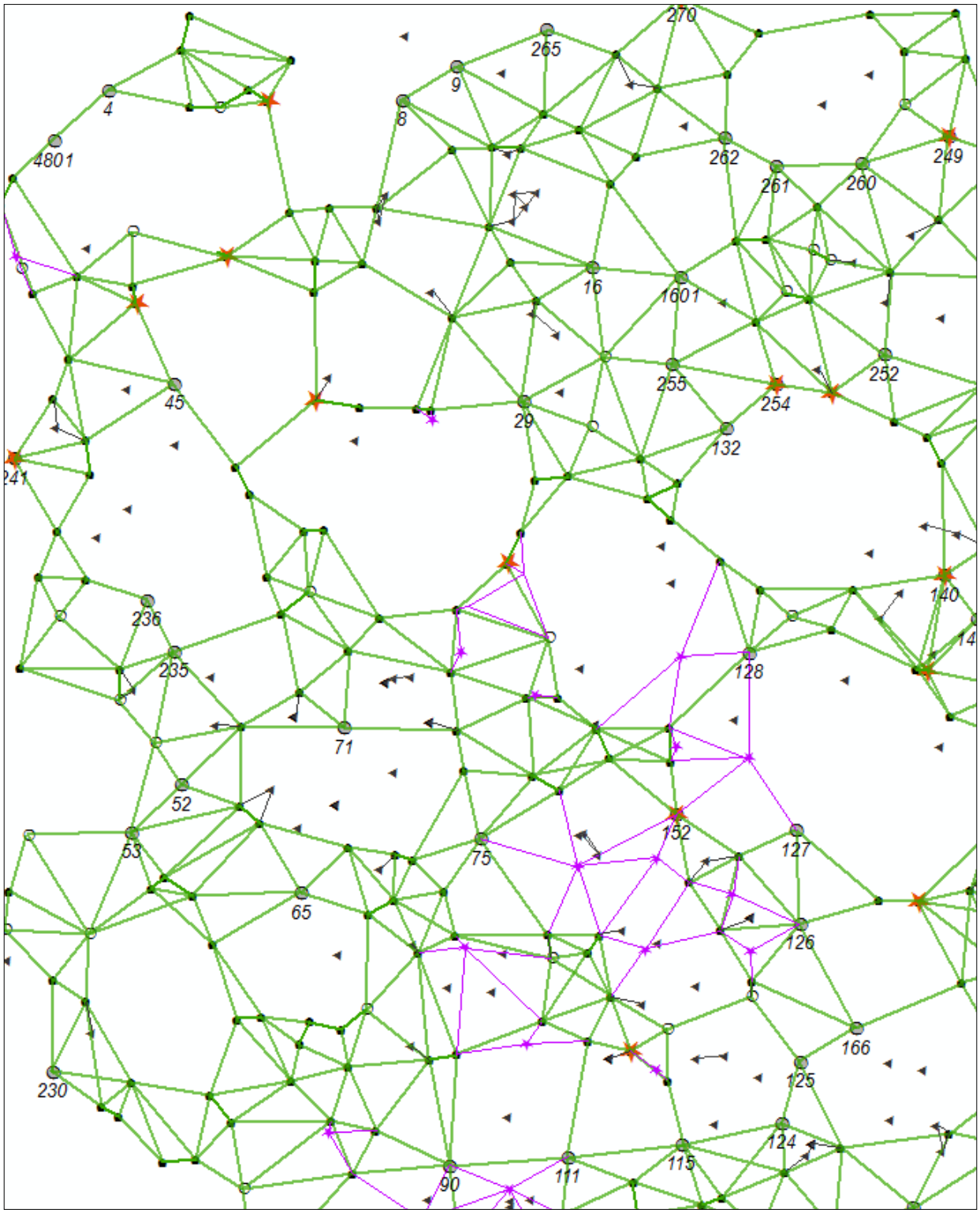


Рис. 4.17. Та же схема, что и на рис. 4.18, но со всеми уровнями взаимодействия (соединены деревья с расстояниями между ними до 8.7 м)

На участке «Северный» была сформирована выборка из 71 дерева с дальними соседями. Но в сравнении с предыдущим участком здесь встречалось больше отпавших деревьев, а вываленные 14 лет назад деревья располагались более равномерно; при этом текущая густота древостоя здесь была меньше на 5.9%. Здесь точно так же, как и на предыдущем участке, можно косвенно

оценить доставшуюся им площадь питания как большую, чем ее среднее значение. Перечень деревьев приводится в таблице (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Деревья с дальними соседями на участке «Северный»

№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см	№ дерева	Диаметр, см
4	51,9	132	36,5	265	45,2	433	36,8
8	53,5	140	53,2	268	49,3	453	41,5
9	55,7	152	58,6	269	50,9	707	38,5
16	46,5	163	43,6	270	62,1	712	45,2
29	41,7	166	39,2	363	33,4	716	53,5
45	35,3	169	35,3	364	49,2	717	35,3
52	46,5	226	48,4	365	49,8	718	37,0
53	43,3	230	34,1	368	41,1	719	48,4
65	51,6	235	39,2	369	43,0	720	41,1
71	35,0	236	35,3	375	22,9	1401	29,8
75	42,7	241	60,8	376	49,5	1601	40,8
90	44,3	248	41,4	377	36,6	2381	44,1
111	48,7	249	63,4	388	42,5	4801	37,2
115	44,3	252	29,7	390	41,2	4811	30,5
124	42,5	254	59,9	399	52,8		
125	42,5	255	43,6	406	45,5	*n*	71
126	46,2	260	42,1	413	29,9	*x*	43,82
127	49,2	261	50,9	430	36,3	*б*	8,22
128	50,3	262	38,7	431	44,8		
Примечание: затемнены ячейки с диаметрами выше среднего							

Здесь уже 45 или 63% деревьев эффективно использовали доставшееся им увеличенное расстояние до соседей и сформировали стволы с диаметрами выше среднего в промежутке от 120 до 184 лет.

Результаты сравнения деревьев, имеющих дальних соседей, со всеми остальными деревьями на участке «Северный» показаны в таблице (табл. 4.7).

Таблица 4.7. Деревья с дальними соседями на участке «Северный», в сравнении с остальными деревьями

Выборки	Статистики для диаметра дерева						Диаметр, %	Различие, критерий t
	n	*x*	*±б*	*±m*	*min*	*max*		
1. Деревья с дальними соседями	71	43,82	8,22	0,97	22,9	63,4	108,0	-
2. Остальные деревья	289	40,57	8,07	0,47	21,3	68,8	100,0	3,00
3. Все деревья на участке	360	41,21	8,19	0,43	21,3	68,8	101,6	2,45

Из таблицы следует, что средний диаметр деревьев с дальними соседями достоверно увеличился на 8.0 % в сравнении со всеми остальными деревьями при $t = 3.00 > t_{0.99} = 2.7$.

Сравнивая данные обоих участков, отмечаем большее увеличение среднего диаметра у деревьев с дальними соседями на последнем участке, тогда как на участке «Южный» оно составило всего лишь 3.7% и было недостоверно. Ранее рассмотренный участок «Южный» был суше и имел повышение густоты на 5.9%, т.е. конкуренция на нем была повышена. Вполне вероятно, что ее повышение снизило эффект от увеличения площади питания у деревьев, имеющих дальних соседей. Однако на другом участке, где древостой был меньшей густоты и поэтому конкуренция там была ослаблена, такие «свободные» деревья более успешно реализовали доставшуюся им площадь питания и уже достоверно повысили диаметры на 8.0%.

Полученное различие в увеличении диаметров на участках у деревьев с дальними соседями можно объяснить более образно с позиций эпигенетики. По-видимому, повышение густоты ценоза «зажимает» способности и стремление членов сообщества повышать прирост, а снижение густоты и улучшение условий раскрывает их. Получается, что общая густота фитоценоза выступает как «главный» фактор, а локальная густота вблизи деревьев подчиняется и действует на ее фоне. Однако здесь вмешивается еще и фактор увлажнения, и вполне возможно, что лучшие условия усиливают эффект ее снижения. Но это требуют дополнительного изучения, так как здесь были задействованы всего лишь два участка.

В целом по массиву сосны из 133 деревьев с дальними соседями 76 шт. или 57% оказались с диаметрами выше среднего (см. табл. 3.4 и 3.6). При общем увеличении среднего расстояния до соседей примерно в 2–3 раза, от 0.84–3.70 м до 3.71–8.7 м, число крупных деревьев на таком увеличенном расстоянии возросло в среднем всего лишь на 7.0%, что получается, если усреднить их долю по участкам (50 и 63%). При этом средний диаметр у них увеличился в среднем всего лишь на 6.0%.

В отношении плюсовых деревьев можно отметить следующее. При их отборе вначале выделяют так называемые кандидаты в плюсовые деревья, для которых требуется превышение по диаметру не менее чем на 30% над средним по древостою [Положение, 2000]; их можно называть также самыми крупными деревьями или деревьями-лидерами. Так как средние диаметры по массиву флуктуировали, то на участках «Северный» и «Южный» критерий их выделения был принят, соответственно, 54.7 и 51.7 см и количество таких самых крупных деревьев составило 20 шт. на первом и 24 шт. на втором

участке. В среднем это составило 6.0% от числа всех деревьев массива. Однако из них только 11 шт. (27%) сформировались на указанном увеличенном расстоянии до соседей в 3.71–8.7 м, т. е. при ослаблении конкуренции. В остальных 73% случаев они сформировались в обычных условиях и поэтому их крупные размеры могли быть обусловлены как фактором их лучшего генотипа, так и фактором особо благоприятных для роста мест. Они размещались неравномерно и входили в состав биогрупп в 41% случаев. Это оказалось близким к доле сосны в биогруппах по всему массиву в 40.4%, о чем уже упоминалось. Эта обычность их «встраивания» в структуру древостоя лишний раз подтверждает, что развитие самых крупных деревьев мало зависит от расстояния до соседей и густоты микроценоза, что отмечали многие исследователи ранее [Поляков, 1973; Тябера, 1978; Нагимов, 1999; Демаков, Исаев, 2009; Усольцев, 2013; Демаков, 2018]. В практике лесной селекции, тем не менее, можно использовать даже и такую слабую обусловленность и браковать примерно каждое четвертое плюсовое дерево по причине *возможного влияния* на его фенотип увеличенного расстояния до соседей.

Таким образом, в перестойном древостое сосны в возрасте 184 лет на площади 2.2 га на двух участках с полнотой 0.91 и 0.95 после сплошного картирования деревьев было установлено, что на увеличенном расстоянии до соседей (3.71–8.7 м) сформировалось 133 дерева (18% общего числа). Средний диаметр их на участках оказался повышен на 3.7 и 8.0%, но только второе повышение было достоверно и приходилось на участок с лучшими условиями увлажнения и меньшей густотой. Самые крупные деревья древостоя, с превышением диаметра на 30% и более, размещались неравномерно по площади и только 27% из них сформировались на указанном увеличенном расстоянии до соседей, т.е. при ослабленной конкуренции. В остальных 73% случаев они формировались в обычных условиях конкуренции и их размеры могли быть обусловлены как фактором их лучшего генотипа, так и фактором особо благоприятных для роста деревьев мест на территории.

4.7. Влияние конкуренции в биогруппах на размеры деревьев

Биогруппы участка «Южный». До ветровала 14 лет назад на участке было 83 биогруппы, где сформировалось 191 дерево при расстоянии между ними 84–270 см. После ветровала их осталось 78 и сейчас в них растет 171 дерево, что составляет от 376 живых деревьев 45.5%. В них измерено 111 расстояний между деревьями и среднее равно 204.3±4.6 см. Это в 2.64 раза меньше, чем среднее расстояние между деревьями, рассчитанное по средней

площади питания и равное здесь 5.4 м. Используя это сокращение в 2.64 раза и возводя его в квадрат, можно оценить возрастание конкуренции в 7 раз ($2.64^2 \approx 7.0$). Так как конкуренция резко возросла, то мы ожидали снижения диаметра деревьев в биогруппах. Однако этого не произошло и среднеарифметический диаметр в биогруппах оказался равен 39.02±0.62 см, что практически совпало с таким же диаметром на участке, равном 39.10±0.39 см.

Биогруппы участка «Северный». Здесь среди 359 живых и 23 вываленных в 2003 г. деревьев обнаружено 61 биогруппа, в которых к 120 годам росло 129 или 33.8% деревьев. После ветровала осталось 59 биогрупп и сейчас в них растет 126 деревьев или 35.1%. В биогруппах измерено 69 расстояний между деревьями и среднее расстояние между ними оказалось равно 197.6 см. Площадь питания 1 дерева равна здесь 30.8 м^2, и такую площадь имеет квадрат со стороной 555 см. Принимая это расстояние для оценки, определяем сокращение расстояния в биогруппах в 555 / 197.6 = 2.8 раза, а возводя его в квадрат получаем усиление конкуренции в биогруппах в $2.8^2 \approx 8$ раз. Среднеарифметический диаметр в биогруппах был равен 40.85±0.72 см, что несколько меньше, чем в древостое (41.25±0.43 см), однако различие в 1.0 % между ними оказалось недостоверно.

В целом по всему массиву в биогруппах сейчас растет 297 деревьев из 735 шт. или 40.4%. В них есть как самые толстые (47–65 см), так и самые тонкие деревья (24–30 см). Чтобы понять механизм взаимодействия деревьев в биогруппах, было использовано отношение Дмах/Дmin, где Дмах – диаметр большего дерева в паре и Дmin – меньшего. Для анализа использовали биогруппы только из двух деревьев, которых было большинство. Затем сравнивали полученное отношение с «контрольным» отношением, которое рассчитывали для каждого дерева биогруппы, составляя пару с его ближним соседом. Выдвинули гипотезу, что если отношение Дмах/Дmin будет выше в биогруппах, то в них будет и более сильная конкуренция.

Для ее проверки на участке «Южный» сформировали выборку из 56 биогрупп, состоящих из 2-х деревьев, а также контроль из такого же числа соседних пар, образованных вначале одним, а затем вторым деревом биогруппы с окружающими деревьями. Некоторые деревья выступали в качестве контроля два раза, так как были ближним соседом для двух биогрупп сразу (рис. 4.20).

Сравнение полученных выборок показало (табл. 4.8), что средние диаметры в них почти одинаковы (соответственно, 39.0 и 39.2 см в биогруппах и контроле), несмотря на громадные различия в среднем расстоянии между деревьями (195 и 525 см). Сокращение этого расстояния составило 525 / 195 = 2.7 раза. Считая, что взаимодействие между деревьями

пропорционально квадрату сокращения расстояния, получаем его усиление в $2.7^2 = 7.3$ раза. Однако отношения Дmax / Дmin оказались практически равны: 1.272 и 1.274. Получается явный парадокс – при усилении взаимодействия в 7 раз деревья почему-то совершенно не реагировали на это, что подтвердило приведенные ранее данные о резком ослаблении конкуренции в микроценозах и в парах соседствующих деревьев в спелых древостоях.

.

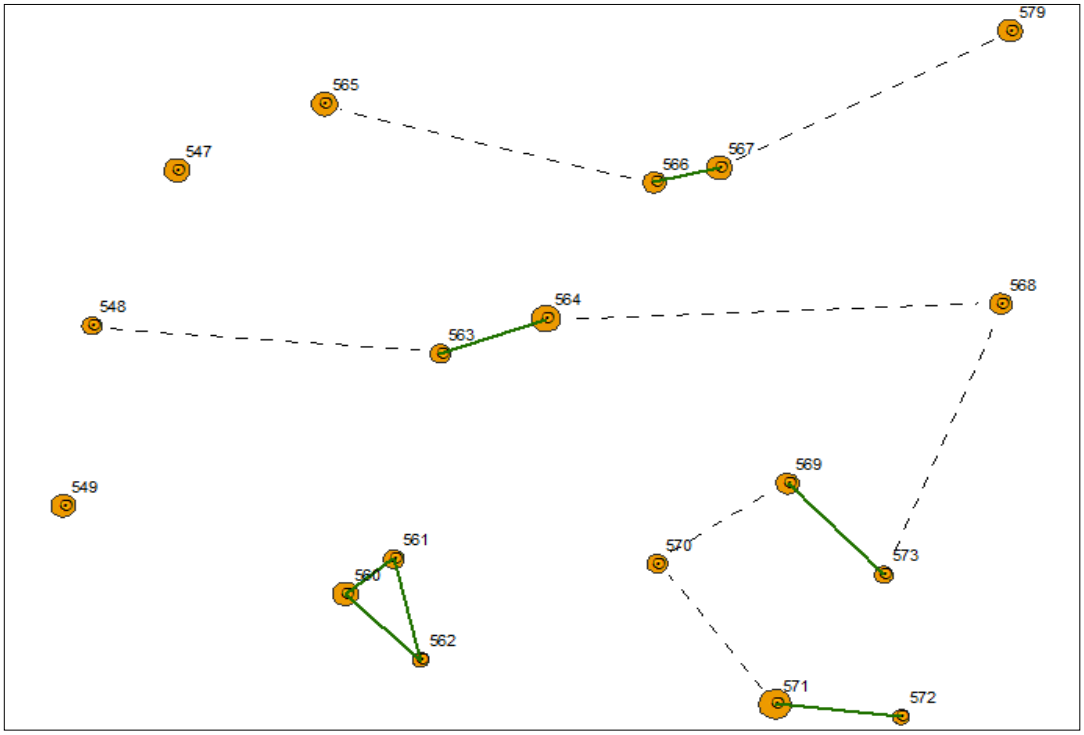
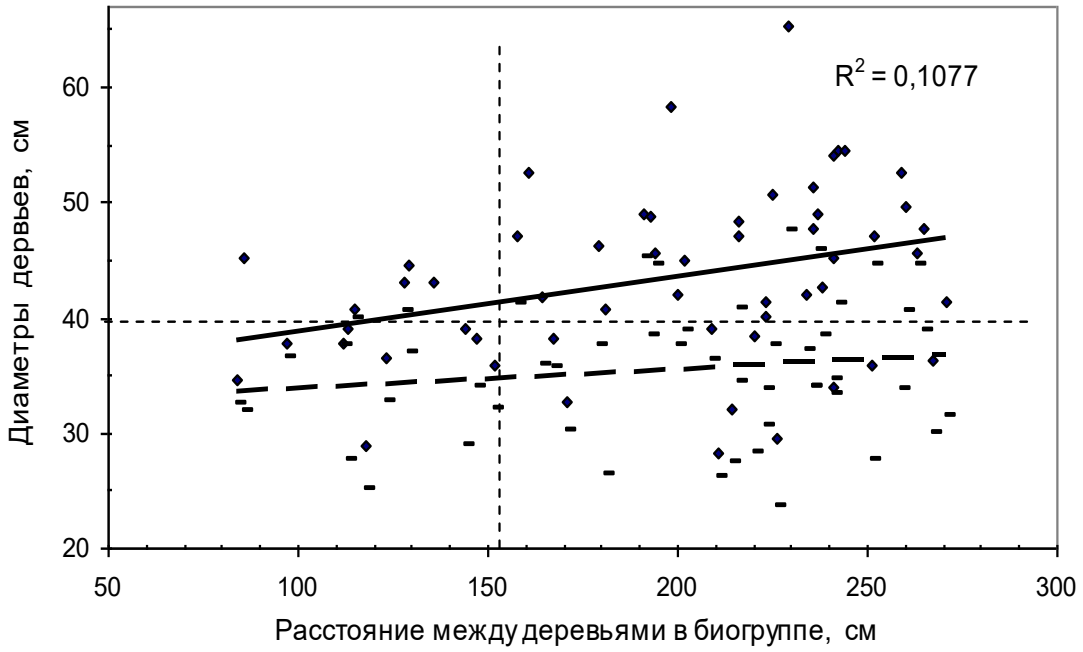


Рис.4.20. Биогруппы и контрольные деревья:
пунктир – связь дерева из биогруппы с контрольным деревом

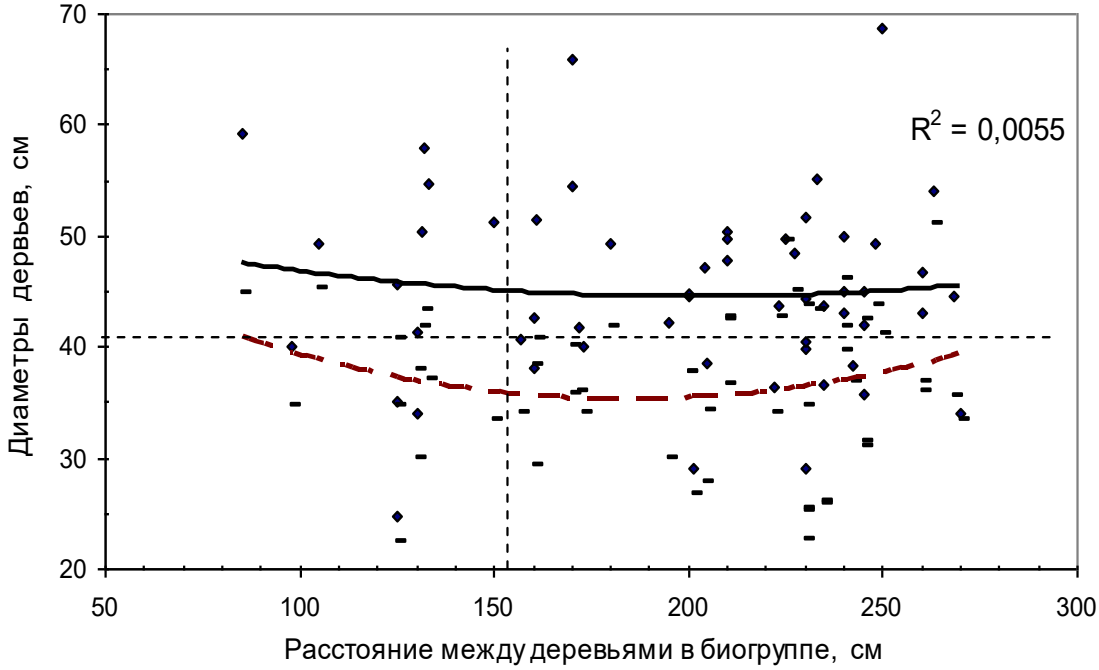
Таблица 4.8. Показатели деревьев в биогруппах и в контроле

Показатели	Статистики					
	n	x	±m	CV, %	min	max
Биогруппы из 2-х деревьев						
Диаметр, см	112	39.0	0.76	20.6	24	65
Расстояние, см	56	195	7.0	26.8	84	271
Дмах /Дmin	56	1.272	0.03	20.1	1.01	2.14
Контрольные пары деревьев-соседей						
Диаметр, см	112	39.2	0.70	18.9	25	63
Расстояние, см	112	525	19.0	38.4	126	1427
Дмах /Дmin	112	1.274	0.022	18.2	1.00	2.29

Далее рассмотрим тренды: а) зависимость диаметра более крупного дерева от расстояния между деревьями в биогруппе и б) ту же зависимость для деревьев с минимальными диаметрами (рис. 4.21).



а

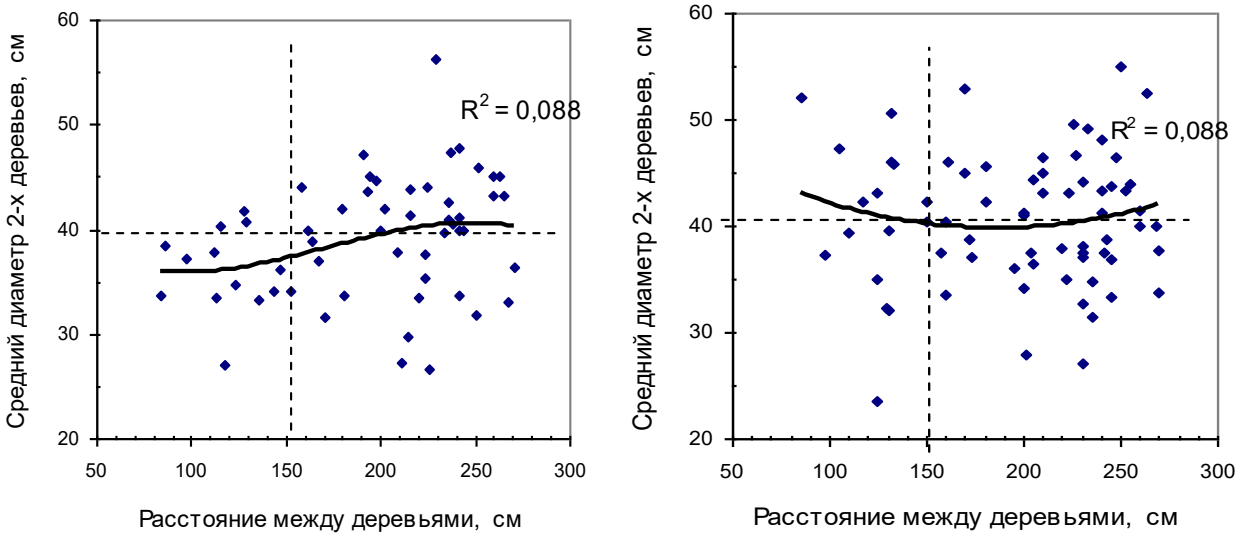


б

Рис. 4.21. Влияние расстояния между деревьями в биогруппе на их диаметр: *а* – участок «Южный», *б* – участок «Северный»; сплошная линия – тренд крупных, прерывистая – мелких деревьев; плоские точки – деревья с малым диаметром; горизонтальная линия – средний диаметр древостоя

На участке «Южный» для минимальных деревьев корреляция оказалась недостоверна ($r = 0.15 \pm 0.13$), но тренд для крупных деревьев достоверен ($r = 0.33 \pm 0.12$ при $t_{факт} = 2.8 > t_{0.99} = 2.7$). Аппроксимация тренда равна $R^2 = 0.1077$, т.е. увеличение расстояния от соседей увеличивает диаметр крупного дерева с силой в 10.8%, при этом что диаметр мелкого дерева достоверно не увеличивается. Однако на участке «Северный» эти тренды просто исчезают. Напомним, что этот участок несколько влажнее и менее густой, и это имеет, вероятно, решающее значение для исчезновения слабых трендов.

Если по двум деревьям рассчитать средний диаметр дерева в биогруппе, то получим для участка «Южный» его слабую корреляцию с расстоянием между деревьями ($r = 0.29$), однако на участке «Северный» корреляция нулевая и равна $r = -0.003$, при равных коэффициентах R^2 (рис. 4.22).



а *б*

Рис. 4.22. Влияние расстояния между деревьями в биогруппе из 2-х особей на средний диаметр этой пары деревьев: *а* – участок «Южный»; *б* – участок «Северный». Пояснения в тексте

Аппроксимация тренда по полиному 3-й степени на обоих участках равна $R^2 = 0.088$, и она показывает, что 8.8% изменчивости средних диаметров деревьев в биогруппе обусловлено влиянием расстояния между ними, однако на участке «Южный» корреляция имеет место, а на участке «Северный» ее нет. Следовательно, какой-либо ясный вывод при столь малой силе влияния расстояния между деревьями в биогруппе на их размеры в целом по всему массиву сосны сделать пока нельзя.

Принято биогруппы подразделять на «плотные», с расстоянием между деревьями до 150 см, и менее плотные с большим расстоянием (Ипатов,

Тархова, 1975; Марченко, 1995). Примерно по этому расстоянию (153 см) как раз и была проведена вертикальная линия на рисунках, и вправо от нее на участке «Южный» встречаются наиболее крупные деревья. Если деревья разделить на две выборки по этой вертикальной линии, то в левой выборке средний диаметр окажется 35.9±1.03 см, что меньше на 10.2%, чем средний диаметр в выборке справа (40.0±0.93 см). Различие достоверно при $t_{факт} = 2.9 > t_{0.99} = 2.7$. Однако на участке «Северный» такого различия нет, и там в более плотных биогруппах деревья такие же по размерам.

Столь подробный анализ был необходим для понимания того, что даже малейшие изменения в структуре древостоя на одном из двух участков, в частности, повышение густоты всего лишь на 5.9%, дает заметное снижение размеров деревьев в плотных биогруппах. Однако в наших исследованиях задействованы всего лишь вариации одной градации (B_2), условий местопроизрастания, причем очень близкие, и пока нет оснований сводить все причины различий к влиянию только густоты или только увлажнения почвы.

4.8. Экологические ниши для деревьев древостоя

Обсуждение полученных результатов

Прежде всего, возникает вопрос, а почему на равенство средних размеров деревьев в биогруппах и в древостое не обращали столь пристального внимания ранее, причем множество исследователей структуры древостоев?

Видимо, потому, что такой вопрос просто не задавали, так как исследователь, находясь в плену идеологемы конкуренции, с самого начала был убежден, что при повышении густоты как всего фитоценоза, так и в его частях (в куртинах, биогруппах) растения *должны снижать* свои размеры. Можно вспомнить, в этой связи, правило рубок ухода, циркулирующее среди лесников: «растут два дерева рядом – убери одно». Официально это правило не декларировали, но оно неизбежно следовало из рекомендации регулировать густоту в местах плотного стояния деревьев. Возможно, это правило справедливо для молодняков, но в среднем и старшем возрасте оно приводит уже к разрушению структур древостоя.

Наш взгляд иногда замечает снижение диаметра у обоих деревьев в плотных биогруппах. Вероятно, ощущение, что одно из деревьев «мешает» другому, как раз и появилось у лесоводов, тонко подметивших это уменьшение там, где расстояние между деревьями оказывалось менее 150 см, что хорошо было видно на диаграммах (см. рис. 4.4, рис. 4.22-*а*). Это наблюдение вполне

импонировало идее «борьбы за существование» Ч. Дарвина и превратилось далее в убеждение, отвечающее ожиданиям выгоды от вырубки одного из таких «мешающих» друг другу деревьев, а далее и в негласный постулат для рубок ухода, уже не нуждающийся в доказательствах (деление деревьев на три категории – перспективные, вспомогательные и подлежащие удалению).

Напомним, однако, что вывод о снижении размеров у деревьев-соседей был получен только для одного участка, где тип леса был суше и выше густота (для участка «Южный»), тогда как на другом участке достоверного снижения диаметров в биогруппах не наблюдалось (см. рис. 4.22-*б*).

Отсутствие влияния на размер деревьев-лидеров близких расстояний до их соседей было отмечено и в литературе, в культурах одинаковой густоты, но с разным индексом равномерности, о которых мы уже упоминали выше. Напомним, что сокращение шага посадки в ряду с 2.2 до 1.0 м, т.е. в 2.2 раза достоверно не повлияло на размер 500 и 1000 крупных деревьев на 1 га в возрасте 35 лет [Плантационное…, 2007, с. 133–137].

Однако самая большая загадка – это сопряжение диаметров деревьев в биогруппах, а также среди ближних соседей. Что она означает? Например, она может говорить о том, что условия для развития обоих деревьев близки, так как при малых расстояниях увеличивается вероятность их попадания в сходные условия. Перечислим эти сходные условия: одинаковый возраст деревьев, одинаковые особенности почвы и литологии глубоких горизонтов или, быть может, подпитка энергией Земли в тех местах, где растет биогруппа?

Если условия плохие, то оба дерева синхронно снижают, а если хорошие, то увеличивают свои размеры. Но явных признаков богатой почвы по растениям-индикаторам в местах с крупными деревьями, или бедной почвы у мелких пар деревьев мы не нашли. Не находили таких отличий и другие лесоводы и селекционеры, в частности, при выделении плюсовых деревьев. По крайней мере, если бы они были, то рано или поздно их бы заметили.

Еще одним непонятным явлением оказывается отсутствие влияния малого расстояния между деревьями в биогруппах на их средний диаметр, что имеет место на участке «Южный», в отличие от участка «Северный» где это влияние достигает 8.0% при $r = 0.29$. Отличие может быть случайным и, если так считать, то не возникает стремления к поиску иных факторов. Но возможно и иное объяснение.

Дело в том, что каждая популяция состоит из двух *популяций-изомеров* [Голиков, 2011], т.е. левых и правых форм деревьев. Они имеют доказанные генетические отличия и противоположную адаптацию: левые предпочитают

прямой свет и слабую конкуренцию, а правые – рассеянный свет (более тенелюбивы) и толерантны к конкуренции. Кроме того, левые лучше растут в сухих условиях, а правые – во влажных. В оптимальных условиях их частота одинакова, но если древостой становится густым, то начинают доминировать правые, а если он более редкий – левые формы. И формы эти доминируют почти всегда, когда густота соответствует их предпочтениям, причем даже в несвойственных условиях по влажности. Их частота выступает как отлаженный эволюционный механизм гомеостаза популяции при изменении ее текущей густоты [Голиков, Бурый, 2008; Голиков, Жигунов, 2012].

Вероятно, именно этот механизм, скорее всего, и приводит к тому, что в чуть более сухих условиях на участке «Южный», где правые формы расти «не любят» (однако им приходится там преобладать в биогруппах из-за более высокой конкуренции) и они снижают в них свои размеры. В оптимальных условиях увлажнения сосняка кисличникового на участке «Северный» правые формы чувствуют себя лучше и снижения диаметров у них в плотных биогруппах уже не произошло. Дополняет этот результат изучение группы специально выделенных деревьев, имеющих *дальних соседей*, где происходило повышение их среднего диаметра на 8.0% в лучших условиях увлажнения, тогда как в более сухих условиях участка «Южный» они повышали диаметры не достоверно и всего лишь на 3.7%.

Концепция экологической ниши

Взаимодействие деревьев может быть рассмотрено и в совершенно иной плоскости – в концепции *экологической ниши*, которую деревья занимают и делят между собой десятилетиями. Здесь важно вернуться к таблице 4.8 с показателями размеров деревьев в биогруппах и в контроле.

Можно сравнить полученное в ней отношение Дмакс / Дмин с так называемой «постоянной Хатчинсона», предложенной в 1959 г. для оценки конкуренции симпатрических видов фауны, занимающих разные экологические ниши в пределах одного местообитания. Ее значение рассчитывается отношением массы или размеров тела более крупных видов к соседствующим мелким видам; при минимальной конкуренции за ресурсы питания она равна для массы тела 2.0 и для линейных размеров тела мелких животных и насекомых ее значение равно 1.3 [по Розенберг, 2007].

Идея ввода постоянной Хатчинсона была нужна для понимания того, что при таком ее значении конкуренция между близкими видами фауны за ресурсы питания минимальна, и они прекрасно сосуществуют вместе. По аналогии

можно считать, что деревья-соседи – это разные организмы, по-разному питающиеся ресурсами среды и разделяющими ее между собой по времени питания и по территории. Это положение доказал В.М. Горячев (1999) который выяснил, что в биогруппах пики радиального прироста у деревьев и, следовательно, пики их минерального питания были разнесены во времени на 1–2 недели. При округлении полученного нами Дмах / Дmin получаем значение 1.274 ≈ 1.3. Т.е данные «из фауны» Дж. Хатчинсона вполне адекватно совпадают с нашими данными «из флоры» по сосне.

Однако если далее взять не просто диаметры, а площади сечений, как более точную характеристику размера дерева, и рассчитать отношение площади сечения большего дерева к малому (или отношения квадратов диаметров $Д^2$мах/$Д^2$min, что то же самое), то у соседствующих деревьев в биогруппах, а также у ближних к ним деревьев мы получаем средние значения этих отношений в пределах от 1.613 до 1.675, статистически не отличающихся от «Золотого сечения» (табл. 4.9).

Таблица 4.9. Отношения площадей сечения крупных деревьев к малым в соседствующих парах деревьев сосны в 184-летнем насаждении

Статистики для отношения диаметров $Д^2$мах/$Д^2$min	Биогруппы на участках			Ближние к биогруппе соседи	Случайные пары
	Северный	Южный	Оба участка		
Число пар	71	56	127	112	358
Минимум	1,01	1,02	1,01	1,00	1,00
Максимум	5,21	4,57	5,21	5,25	6,70
Среднее	***1,613***	***1,682***	***1,643***	***1,675***	***1,771***
Стандартное отклонение	0,675	0,76	0,712	0,673	0,823
Вариация, %	41,9	45,2	43,4	40,2	46,4
Статистическая ошибка	0,080	0,102	0,063	0,064	0,043
Золотое сечение	**1,618**	**1,618**	**1,618**	**1,618**	**1,618**
Среднее, % к Золотому сечению	99,7	104,0	101,6	103,5	109,5
Отличие от Золотого сечения, критерий t	0,06	0,63	0,40	0,90	3,52**

** - различие достоверно в 99% случаев

В сравнении с Золотым сечением, принятым за 100%, значения отношений у деревьев-соседей колебались от 99.7 до 104.0% по отношению к нему, и отличия эти были не достоверны ($t_{факт}$ = 0.06–0.90 < $t_{0.05}$ = 2.0), т.е. они

совпадали с ним статистически. Однако в случайных парах искомое отношение оказалось 1.771, что достоверно выше «Золотого сечения» на 9.5% при $t_{факт} = 3.52 > t_{0.01} = 2.63$.

Таким образом, наблюдаемая разнородность диаметров у соседствующих деревьев ограничена статистической константой, имеющей основу в Золотом сечении, которое действует как глобальный механизм устройства и гармонии Вселенной, и которое проявляет себя буквально во всех формах живой природы [Шевелев, 2000; Назаров, 2012; Чернов, 2013].

Поэтому можно полагать, что если оно обнаружено в каком-либо древостое, то он будет безупречен по своей структуре, как хорошо отлаженный организм. Что будет с таким организмом-древостоем, если указанная пропорция 1.618 нарушиться – еще только предстоит выяснить. По-видимому, это и будет главной *теоретической задачей,* которую предстоит решать при моделировании структуры древостоев самого разного состава и возраста.

Константа Золотого сечения объективно существует как закон природы. Она была и будет всегда. Надо ее просто обнаружить в соотношениях биологических признаков, а далее использовать для оценки состояния экосистем как абсолютный ориентир. Высоко вероятно, что в насаждениях с оптимальной структурой отношение $Д^2max/Д^2min$ у деревьев-соседей будет очень близко к ней. Если же оно будет достоверно отличаться, то имеет смысл говорить о нарушениях в развитии и состоянии таких насаждений.

В практическом плане при ее наличии разного рода рубки ухода и другие мероприятия получают универсальный способ проверки их *правильности* по показателю отношения площадей сечений соседствующих деревьев $Д^2max/Д^2min = 1.618$, равных Золотому сечению, которые рассчитывают на выборках из 50–60 пар деревьев-соседей. Как безусловный ориентир, эту константу следует использовать для оценки качества и устойчивости лесных экосистем и древостоев, особенно в научных исследованиях и опытно-производственной проверке.

В целом данные, полученные при изучении расположения 735 деревьев сосны на двух участках 184-летнего насаждения 1 класса бонитета на общей площади 2.2 га на супесчаной почве с полнотой 0.91 и 0.95, позволяют сделать следующие выводы.

4.9. Выводы

1. В массиве сосны с полнотой 0.91–0.95 в возрасте 184 года между 735 деревьями учтено 479 расстояний до ближнего соседнего дерева при среднем значении 332±6 см, минимуме 84 см, максимуме 790 см и вариации 38.2%.

2. Отпавшие за последние 60 лет деревья находились на расстояниях 50–600 см от ближнего соседа при среднем значении 221 см, что на 20% меньше среднего расстояния между деревьями в то время (в 120 лет). При этом 83% деревьев отпадали на расстояниях 50–300 см.

3. В возрасте 184 года расстояние до ближнего соседа повлияло на диаметр дерева с силой 2.2–2.8%. На средний диаметр двух деревьев на концах этого расстояния оно повлияло с силой 4%.

4. Оптимальным расстоянием между двумя соседними деревьями в возрасте 184 года является 161–440 см, где сформировались самые крупные деревья. Поэтому в молодом возрасте разреживания среди лидирующих деревьев следует проводить при расстояниях между ними менее 160 см.

5. Деревья-соседи коррелируют диаметрами: крупное влияет на малое и при расстояниях 84–450 см корреляция была равна r = 0.52±0.04, а на расстояниях 451–790 см ее значение снижалось до r = 0.27±0.10. Это указывает на партнерство деревьев, в отличие от конкуренции, которая должна была бы приводить, наоборот, к снижению корреляций на близких расстояниях.

6. В парах деревьев-соседей диаметры крупных деревьев коррелируют с малыми при r = 0.52±0.037. Возникает эффект партнерства, или эффект группы Олли, что проявляется в согласованном увеличении или уменьшении их диаметров. По мощности эффект партнерства равен 27.8%, что в 10 раз (!) сильнее, чем конкуренция за свет и корневая конкуренция, если их оценивать через фактор расстояния между деревьями, влияющий с силой 2.2–2.8%.

7. Рассчитанное исходя из общей густоты насаждения среднее расстояние между деревьями составило 547 см. Расстояние в ½ от него и равное 270 см было принято в качестве критерия выделения «биогрупп», т.е. скопления деревьев. В них оказались растущими 40.4% деревьев. Средние диаметры деревьев в биогруппах, с расстоянием между деревьями 84–270 см, и по насаждению в целом отличались недостоверно и не более чем на 1.0%

8. Чтобы понять механизм партнерства, использовали биогруппы из двух деревьев и отношение диаметра большего дерева к меньшему (Дmax / Дmin). Выдвинули гипотезу, что если отношение будет больше в биогруппах, то и конкуренция в них будет сильнее. Для контроля использовали такое же число

пар, образованных одним, а затем вторым деревом биогруппы с соседним ближним деревом. Выборки из 112 деревьев в биогруппах и такого же числа деревьев в ближних контрольных парах деревьев-соседей показали, что это отношение одинаково и равно 1.27. Средние диаметры также были равны (39.0 и 39.2 см), несмотря на громадные различия в средних расстояниях между деревьями – 195 см в биогруппах и 525 см в контроле. Получается, что при усилении взаимодействия во много раз деревья в биогруппах совершенно не реагировали на это усиление, что говорит о замещении конкуренции партнерством.

9. Если далее рассматривать деревья в концепции экологической ниши и считать их организмами, потребляющими ресурсы питания в разное время сезона [Горячев, 1999], то полученные выше отношения Дmax/Дmin совпадают с «постоянной Хатчинсона», равной 1.3. Она была введена для понимания того, что при таком ее значении конкуренция между симпатрическими видами минимальна, так как они, после изучения характера их питания, занимали разные экологические ниши.

10. В выборке из пар деревьев-соседей отношение квадрата диаметра большего дерева в паре к меньшему ($Д^2max/Д^2min$) оказалось статистически не отличающимся от Золотого сечения, равного 1.618, тогда как в случайных парах оно было достоверно больше. Это свидетельствует о наличии биологической константы в структуре древостоя.

11. Биологические константы в отношениях диаметров деревьев-соседей, совпадающие с Золотой пропорцией, указывают на критерии гармонии и гомеостаза лесных насаждений. Можно полагать, что если «Золотая пропорция» 1.618 будет статистически доказана по отношению $Д^2max/Д^2min$ в соседствующих парах деревьев в каком-либо древостое, то он будет охарактеризован как безупречное и устойчивое сообщество. Она может служить также критерием правильности проведенных лесохозяйственных мероприятий, для чего следует использовать указанное отношение диаметров в 50–60 парах деревьев-соседей.

Глава 5. МИКРО И МАКРОЦЕНОЗЫ

5.1. Микроценозы, их густота и отпад деревьев

Ранее в главе 3 мы подробно рассматривали биогруппы из 2–5 деревьев, которые являются естественными микроценозами, структурирующими древостой. Однако в них растет только 40.4% деревьев, и мы лишаемся значительной части данных для анализа.

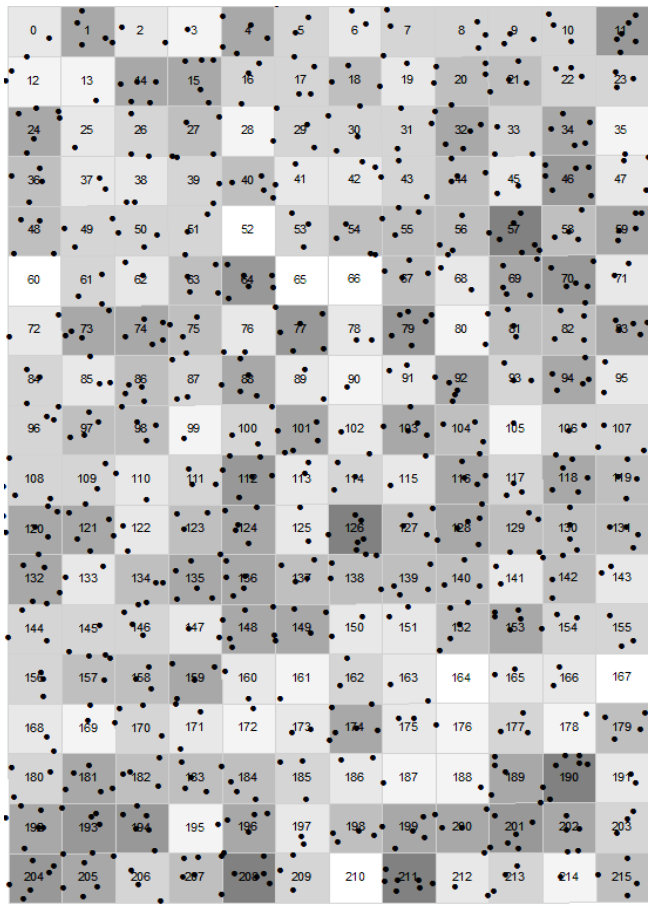
Между тем возможен и другой подход. Можно механически разделять массива леса на площадки в виде квадратов-клеток до тех пор, пока не появятся пустые клетки. В молодняках и в среднем возрасте насаждений обычно использовали размер клеток 5×5 м [Колобов, 2012, 2014], а в спелом возрасте их размер можно увеличить до 10×10 м. Подход этот наиболее прост и вместе с тем, при большом числе площадок, позволяет получать достаточно объективные результаты.

Рассмотрим результаты, полученные в результате разделения массива сосны на площади 2.16 га на площадки по 0.01 га (рис. 5.1).

Здесь нанесено на план расположение 720 живых и 54-х вываленных 14 лет назад деревьев. Все вместе они отражали структуру древостоя в возрасте 170 лет. На план нанесли также 330 отпавших деревьев, и по сохранившимся от старых пней следам можно было полагать, что возраст, когда они были еще живыми, составлял примерно 120 лет.

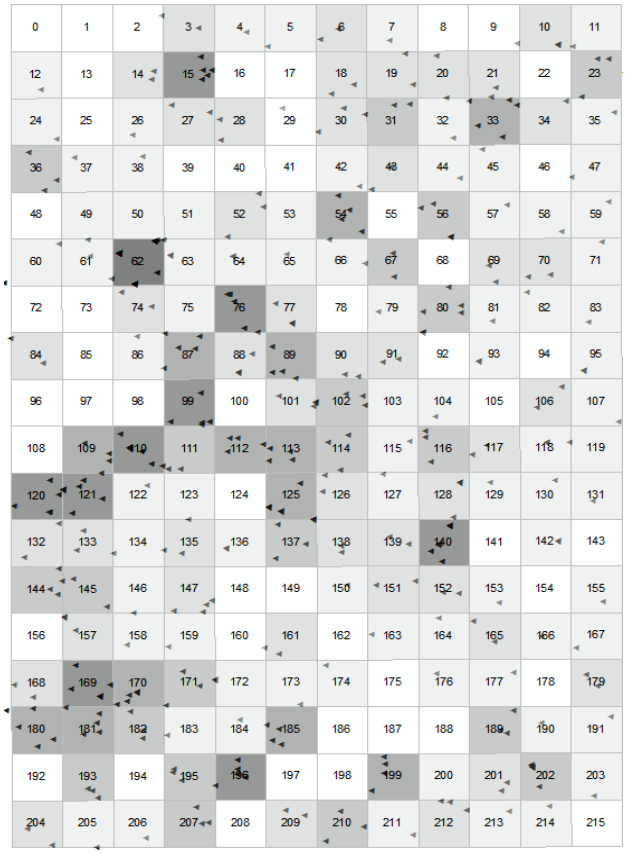
На рисунке 4.11 показаны три плана, окрашенные по плотности деревьев в настоящее время в 184 года, затем примерно 60 лет назад в возрасте 120 лет, и план с отпавшими за это время деревьями. Сразу видно, что ни о какой «равномерности» в густоте живых, а также отпадающих деревьев речи быть не может. Встречались ячейки 10×10 м как с нулевым отпадом, так и с отпадом до 6 – 8 деревьев.

Среднее число деревьев на одну площадку 0.01 га составило в возрастах 120 и 170 лет соответственно 5.12 и 3.63 шт. В расчете на 1 га это составит 512 и 363шт./га.



а

б



в

Рис. 5.1. Плотность микроценозов сосны на площадках 0.01 га:
а – в настоящее время в 184 года;
б – в 120 лет; в – плотность отпавших за 60 лет деревьев.
Пустые овалы – ветровальные деревья, треугольные точки – отпавшие деревья

Мозаику плотности микроценозов можно показать в численных характеристиках их густоты в 120 лет и естественного изреживания за 50 последующих лет (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Распределение площадок 0.01 га (микроценозов) по числу отпавших за 50 лет деревьев сосны по классам густоты в 120 лет

Густота площадок в 120 лет, шт. деревьев	Распределение площадок по числу отпавших за 50 лет деревьев						Итого площадок		Средний отпад	
	0	1	2	3	4	5	шт.	%	шт.	%
1	5	2					7	3,2	0,29	29
2	13	5					18	8,3	0,28	14
3	8	14	3	1			26	12,0	0,88	29
4	7	14	8	2			31	14,4	1,16	29
5	12	20	10	2			44	20,4	1,05	21
6	4	14	5	4	2	2	31	14,4	1,74	29
7	1	5	11	7	6	3	33	15,3	2,64	38
8		4	6	4	2		16	7,4	2,25	28
9			1	1	2	1	5	2,3	3,60	40
10					1	4	5	2,3	4,80	48
Итого	50	78	44	21	13	10	216	100,0		
Среднее									1,87	30,5

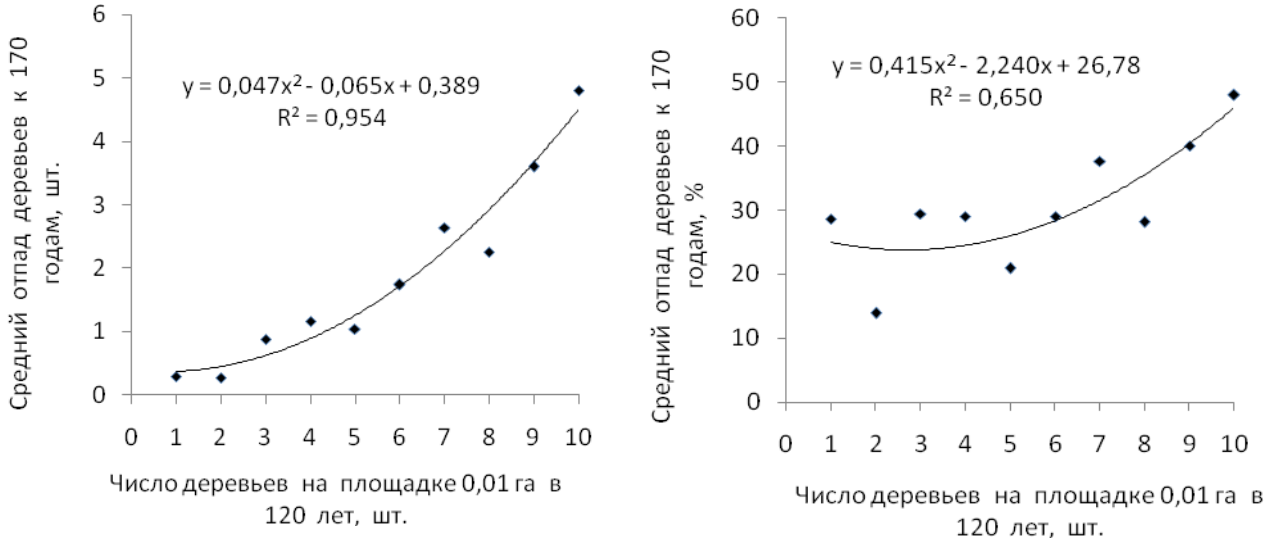
Распределение площадок по густоте в 120 лет оказалось близким к нормальному, с модальной густотой 5 шт. (20.4% всех площадок). При этом на площадках с густотой от 3 до 7 шт. в целом росло 76.4% деревьев. Средний отпад спустя 50 лет, т.е. к 170-летнему возрасту, составил в расчете на одну площадку 1.87 дерева или 30.5%.

Заметное увеличение среднего отпада по числу деревьев началось от густоты 6 шт. (1.74 шт. и более), однако если отпад выразить в % от числа деревьев на площадке, т.е. его *интенсивность*, то она существенно увеличивается только при самых максимальных густотах 9 и 10 шт., где отпад достигает 40-48% (в среднем 44%).

Какие же площадки теряли больше всего деревьев, и как сильно повлияла на это их густота?

Нужное нам влияние густоты можно выяснить, если коррелировать их густоту в 120 лет с отпадом деревьев на них к 170 годам, т.е. за 50 лет. Связь может быть криволинейной, поэтому лучше оценивать ее по показателю аппроксимации, например, полинома 2-й степени.

Если в исследовании ставится цель выяснить *средний* отпад, то иногда поступают очень просто – представляют отпад в абсолютном (в шт.) или в относительном (в %) выражении, рассчитывая его средние величины по классам густоты. Диаграммы такого рода, показанные ниже, позволяют моделировать отпад по классам густоты, и высокие значения R^2 для линий тренда (0.650 и 0.954), казалось бы, позволяют это уверенно делать (рис. 5.2).



а *б*

Рис. 5.2. Средний отпад сосны на площадках 10×10 м в возрасте от 120 до 170 лет: \ *а* – в абсолютном; *б* – в относительном выражении

Однако точность прогноза по этим моделям не ясна, так как коэффициенты аппроксимации R^2 на диаграммах с усреднением данных по вертикальной оси не показывают *все данные*. Т.е. нужно то, что называется «полные данные». Для этого нужен весь спектр отпада, который колебался от 0 до 100%. И здесь связь оказывается уже совершенно другой. Разброс данных оказался настолько велик, что при густоте даже в 6–7 шт. встречались площадки с нулевым отпадом, а малая густота, т.е. 1–3 шт., не гарантировала деревьям полную сохранность и имел место даже их полный отпад. На это можно возразить, что последие могли соседствовать с густыми площадками, и те влияли на процесс отпада. Это вполне могло быть, и в этом недостаток «механических» микроценозов; но недостаток этот преодолевается

увеличением объема выборки, и у нас он достаточно большой (216 шт.). Но на диаграмме число точек получилось намного меньше, так как их значения часто накладывались одно на другое (рис. 5.3).

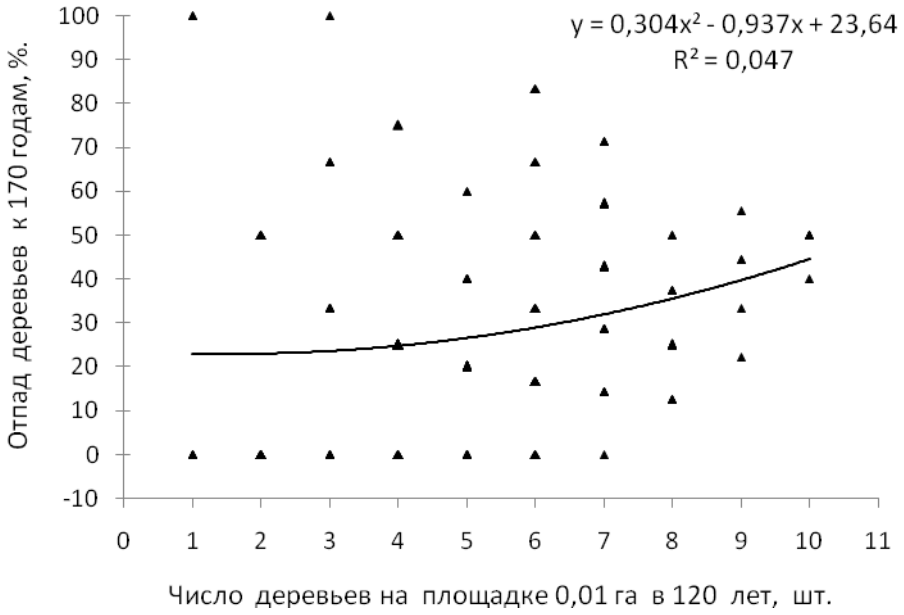


Рис. 5.3. Отпад сосны на 216 площадках в возрасте от 120 до 170 лет

Если взять значения с линии тренда, то при числе деревьев на площадке 1–3 шт. отпад составит в среднем 23% (при разбросе от 0 до 100%), а при 7–9 шт. – 37% (при разбросе от 0 до 71%). То есть с повышением густоты микроценоза от 1–3 шт. до 7–9 шт. (в среднем в 4 раза) процент отпада за 50 лет увеличился в среднем всего лишь в 1.6 раза.

Очень слабое влияние густоты площадок на отпад подтверждает также и показатель аппроксимации линии тренда, который на рисунке 5.3 равен $R^2 = 0.047$. Это, по сути, ничтожный уровень, и сила влияния густоты на площадке на процент будущего отпада деревьев конкретно на данных двух участках составляет всего лишь 4.7%. А это значит, что в остальных 95.3% случаев деревья отмирают в микроценозах по причинам, не связанным с их густотой. Это оказалось весьма неожиданно, и мы даже не предполагали столь малого влияния густоты микроценозов на интенсивность их естественного изреживания.

5.2. Влияние густоты микро, миди- и макроценозов

Парадигма конкуренции меняется также и в другом аспекте, а именно, в слабом влиянии густоты микроценоза на диаметры деревьев (рис. 5.4).

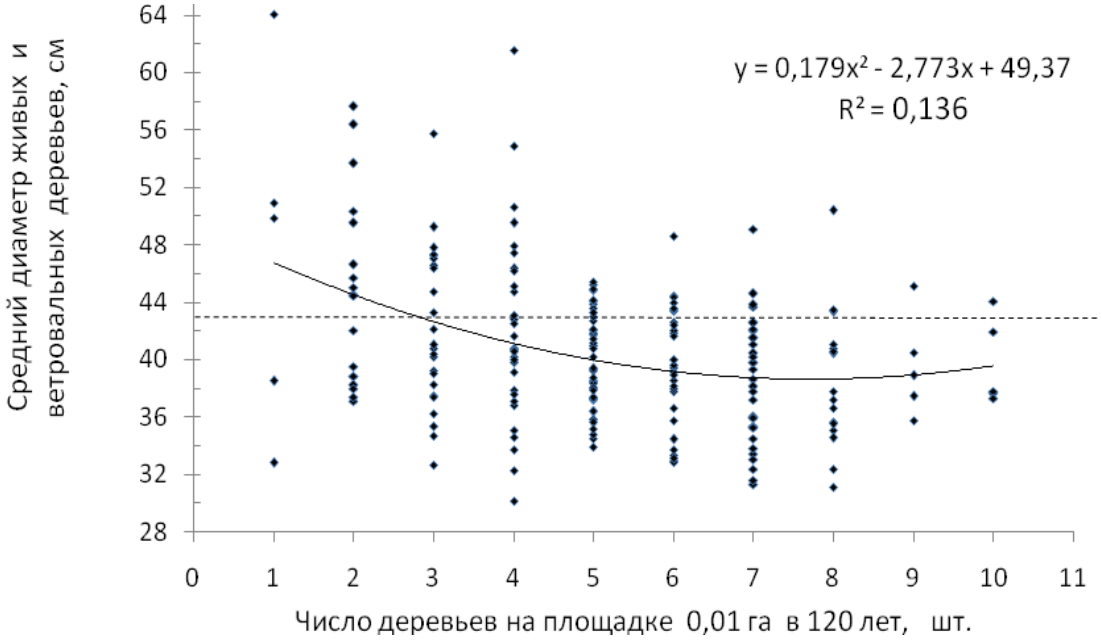


Рис. 5.4. Влияние густоты микроценозов в 120 лет на средний диаметр деревьев в 184 года: прерывистая линия – средний диаметр древостоя.

Здесь фактор густоты микроценоза повлиял на диаметр сосны с силой 13.6% ($R^2 = 0.136$); это была аппроксимация для полинома, а в линейном исполнении он имеет $R^2 = 0.108$ и корреляцию $r = 0.329$, о которых разговор будет ниже. А пока заметим, что если рассчитать средние значения диаметров по классам густоты площадок, то на площадках с одним деревом он будет несколько выше, а на площадках с 4 и более деревьями – ниже среднего. Диаметр важен в хозяйственном плане и, казалось бы, надо его повышать и поэтому разреживать микроценозы. Однако, если после удаления самых тонких деревьев рассчитать сумму площадей сечения оставшихся деревьев, то при снижении их числа на площадке, например, от 5 до 4-х их сумма сечений снизится в среднем на 11 %, а при сокращении от 6 до 4-х на 21%. Из этого следует, что если мы в 100–120 лет разредим густые места с вырубкой пусть и отставших, но живых деревьев, то сумма площадей сечения, а значит и запас древесины к 184 годам в целом по древостою будет неизбежно снижен.

Показанный на рисунке 5.4 тренд и поле корреляции – только один из множества полученных нами. Все остальные связи и результаты расчетов по ним были сведены в таблицу (табл. 5.2)

Таблица 5.2. Влияние густоты на пробных площадях (ПП) разного размера (в микро-, миди и макроценозах) в разном возрасте на средний диаметр сосны в возрасте 184 года

Размер ПП, га	Число ПП, шт.	Корреляция густота× диаметр (r)	Показатель аппроксимации линий тренда R^2 (сила влияния фактора густоты)							Среднее влияние густоты: (r^2 + R^2+ R^2 ср) / 3
			линейная связь (R^2)	полиномы, степень					Среднее из полиномов (R^2 ср)	
				2	3	4	5	6		
Микроценозы: в 184 года										
0. 01	216	-0.304	0.078	0.089	0.094	0.096	0.096	0.102	0.095	0.088
в 170 лет										
0. 01	216	-0.304	0.092	0.101	0.106	0.109	0.113	0.117	0.109	0.098
в 120 лет										
0. 01	216	-0.329	0.108	0.136	0.136	0.137	0.138	0.138	0.137	0.118
участок «Южный» (более сухой)										
0.01	*108*	*-0.263*	*0.069*	*0.089*	*0.096*	*0.112*	*0.112*	*0.114*	*0.105*	*0.081*
в т. ч. более густое место										
0.01	*54*	*(-0.220)*	*0.048*	*0.070*	*0.077*	*0.086*	*0.086*	*0.087*	*0.081*	*0.059*
участок «Северный» (более влажный)										
0. 01	*108*	*-0.346*	*0.133*	*0.177*	*0.191*	*0.219*	*0.239*	*0.240*	*0.213*	*0.155*
в т.ч. более редкое место										
0.01	*54*	*-0.346*	*0.119*	*0.180*	*0.223*	*0.249*	*0.300*	*0.303*	*0.251*	*0.163*
Мидиценозы в 120 лет										
0.04	54	-0.459	0.21	0.27	0.293	0.313	0.329	0.333	0.308	0.243
0.09	24	0.59	0.348	0.454	0.509	0.568	0.632	0.64	0.561	0.419
0.12	18	-0.605	0.366	0.394	0.516	0.54	0.567	0.609	0.525	0.419
Мидиценозы в 170 лет										
0.04	54	-0.542	0.293	0.294	0.369	0.394	0.408	0.408	0.375	0.321
0.09	24	-0.576	0.332	0.399	0.399	0.4	0.431	0.461	0.418	0.361
0.12	18	-0.705	0.497	0.538	0.573	0.573	0.631	0.642	0.591	0.528
Макроценозы в 170 лет										
0.24	9	-0.650	0.422	0.445	0.495	0.565	0.585	0.677	0.553	0.466
0.36	6	-0.747	0.557	0.693	0.990	0.999	1.000	1.000	0.936	см. текст

Примечание: (-0.220) – корреляция не достоверна

В этой сложной таблице сведены вместе данные из множества точечных диаграмм, подобных показанной на рис. 5.4. Для отслеживания изменений вверху таблицы использованы пробные площади (ПП) размером 10×10 м,

в середине – пробные площади 20×20, 30×30 и 40×30 м, а внизу – пробные площади по 0.24 и 0.36 га. Поясним, что здесь для анализа данных мы провели еще одно разделение массива сосны, на этот раз на четыре части (участки «Южный» и «Северный» и их ½ части, показанные курсивом). Это было сделано с целью проследить, как флуктуации густоты и увлажнения биотопа влияют на показатели связи густота×диаметр по четырем частям этого массива. Затем, в нижней половине таблицы показано, как меняется связь густота×диаметр от уровня миди- (0.04–0.12 га) к уровню макроценоза (0.24–0.36 га) для возраста определения густоты в 170 лет.

Анализ данных этой таблицы показал, что в возрасте 184 года показатели аппроксимации R^2 оказались наименьшими: 0.078 для линейной связи и в среднем по пяти полиномам $R^2_{ср}$ = 0.095. Заметим, что корреляция r = -0.304 при возведении в квадрат дает детерминацию связи густота×диаметр r^2 = 0.092, что близко к значениям $R^2_{ср}$. Для общей оценки влияния фактора густоты можно принять среднее из этих трех значений: (0.078 + 0.095 + 0.092) / 3 = 0.088 или 8.8%, которое приведено в крайней графе таблицы.

Так как в возрасте 170 лет в массиве сосны прошел ветровал, то мы пролонгировали у вываленных деревьев их диаметры на настоящее время и далее провели их обработку вместе с живыми деревьями. Здесь для линейной связи густота×диаметр показатель R^2 = 0.092, а в среднем по пяти типам полиномов $R^2_{ср}$= 0.109. Корреляция r = -0.0304 дает детерминацию r^2 = 0.092. Из двух значений R^2 и одного r^2 получаем для 170-летней густоты микроценоза силу ее влияния на диаметр сосны в 184 года в среднем равной 0.098 или 9.8%.

Такие же расчеты для 120-летней густоты микроценоза показывают силу ее среднего влияния на диаметр в 184 года 0.118 (последняя графа в таблице).

На участке «Южный» (более сухом) в 120 лет на 108 площадках по 0.01 га среднее влияние густоты оказалось равно 0.081, в том числе в более густом месте массива на 54 площадках оно снизилось вообще до 0.059. На участке «Северный» (более влажном) на 108 площадках среднее влияние густоты оказалось равно 0.155, в том числе в более редком месте 0.163. Однако увеличение этого среднего влияния оказалось не достоверно из-за слабых корреляций. При этом оценка по средним значениям из полиномов (R^2 ср) показала увеличение силы влияния густоты от $R^2_{ср}$ = 0.081 до $R^2_{ср}$ = 0.251, т.е. в 3.1 раза. Поэтому вполне возможно, что увеличение общей густоты древостоя в целом (густоты макроценоза) ослабляет влияние густоты на уровне

микроценоза, т.е. на уровне индивидуальных взаимодействий близко соседствующих деревьев.

В целом полученные данные характеризуют площадки 0.01 га как сообщества со слабым влиянием их густоты на диаметр деревьев. При усреднении показателей детерминации и аппроксимации линий трендов в возрасте 184, 170 и 120 лет густота микроценозов действует на диаметр деревьев с силой, соответственно, 8.8, 9.8 и 11.8%. Эти данные позволяют определить действие густоты микроценозов на диаметр деревьев в спелом и перестойном древостое сосны с силой в среднем 10.1 %.

Далее рассмотрим нижнюю часть таблицы, с данными пробных площадей размером 0.04–0.36 га. Эти размеры – уже уровень «мидиценоза» (среднего между микро- и макроценозом), с приближением к макроценозу, т.е. полноценному древостою.

На пробах размером 0.04 га оценки силы влияния густоты в последней графе таблицы в возрасте 120 и 170 лет составили, соответственно, 0.243 и 0.321; далее, на ПП размером 0.09 га они были равны 0.419 и 0.361, и на ПП по 0.12 га они возросли до 0.419 и 0.528. В сравнении с микроценозами (площадками по 0.01 га) эти значения выше в среднем в 4.0 раза. Здесь повышение корреляции густота×диаметр достоверно, и при переходе от ПП размером 0.01 га к ПП размером 0.04 га для возраста 170 лет они были равны $r = -0.304 \pm 0.062$ и $r = -0.542 \pm 0.096$, при $t = 2.07 > t_{0.05} = 1.98$.

Дальнейшее увеличение размера пробной площади до 0.24 и 0.36 га приводит к получению корреляций густота×диаметр до -0.650 и -0.747 и показателям R^2 для линейных связей, равных 0.422 и 0.557 соответственно. Эти показатели выше, чем их значения на меньших пробах размером 0.09–0.12 га, где они были равны для корреляций -0.576 и -0.705, и для показателей R^2 линейных связей 0.332 и 0.497.

Однако для крупных пробных площадей размером 0.24–0.36 га малые выборки из 9 и 6 пар значений это повышение доказать не позволяют. (Кроме того, построенные по 6 точкам полиномы 3–6-й степени имеют значения $R^2 = 0.990 \div 1.000$, которые вообще нельзя использовать для оценок связи, так как тренд просто соединяет отдельные точки. И мы приводим их лишь как пример тех значений, на которых заканчивается корректный регрессионный анализ).

Поэтому, подводя итог расчетам силы влияния густоты на уровне древостоя на диаметр деревьев в 184 года можно взять за основу результаты определения ее влияния по 18 пробным площадям размером по 0.12 га. Здесь и

корреляции, и показатели аппроксимации трендов связей густота×диаметр достоверны, и при усреднении 7 оценок, полученных для линейных и криволинейных связей, для густоты в 120 лет они оказались в среднем равны 0.419, а для густоты в 170 лет они повысились до 0.528. Т.е. в целом для всего насаждения сосны флуктуации его густоты в возрасте 120–170 лет повлияли на диаметр деревьев в 184 года в среднем с силой 47%.

5.3. Обсуждение результатов – наблюдаемых и возможных

Полученные здесь результаты интересны в сравнении с результатами, полученными другими методами, а также другими авторами.

Действующая парадигма предполагает, что повышение густоты усиливает конкуренцию, и она должна снижать размер особей. И если в лесу будут густые места, то диаметры деревьев в них теоретически должны быть меньше. В этой логике общую закономерность, действующую на уровне фитоценоза, априорно перемещают на частный уровень – на уровень индивидуальных взаимодействий в более мелких структурных единицах сообщества. На первый взгляд, это справедливо, потому что густота – независимая переменная в моделях хода роста и главный фактор в законе морфогенеза одноярусных древостоев [Разин, 1979; Рогозин, Разин, 2015].

В данном разделе как раз и были получены данные для проверки действия этого закона на 18 пробных площадях размером 0.12 га – в виде влияния густоты в 120–170 лет на диаметр деревьев с силой в среднем 47.3%. Это сильное влияние, но оно оказалось все-таки в два раза ниже, чем у других авторов, где ее влияние достигало 88–93% [Нагимов, 2000]. Однако такое ее повышение вполне объяснимо – там использовали древостои из разных мест, отличавшихся и по истории их начальной густоты, которая не была выяснена, и в меньшей мере условиям местопроизрастания. Эти различия были намного больше, чем в нашем случае, где мы использовали один массив сосны, где их изменчивость была предсказуемо ниже. Следовательно, чисто логически у нас должна быть меньше и связь густота×диаметр, что и было получено.

Показательное усиление связей можно получить, например, после имитации некоторых ситуаций, возникающих при статистическом анализе данных, которые мы уже проделывали при очистке выборки от кластера точек с сильно уклоняющимися значениями (см. рис. 3.13). Но сейчас мы сделаем, так сказать, еще и некоторое «расширение» изменчивости таксационных показателей, полученных в очень малых выборках из 9 и 6 пробных площадей

размером 0.24 и 36 га. Для такого рода имитации проведем исключения и добавки, используя гипотетические данные, которые вполне *можно получить* в ситуации преднамеренного поиска «типичных» мест с очень малой, а также с повышенной густотой, с отличиями от имеющейся густоты на 20–25%. Сразу заметим, что в реальных насаждениях мы встречали, хотя и достаточно редко, древостои с полнотой 1.26 на участках размером как раз в одну пробную площадь 0.20–0.30 га. И если вернуться к рисункам 2.12–2.15, показывающим структуру в виде цепочек взаимодействия деревьев, и мысленно заполнить деревьями прогалины, занимающие до 30% территории, то можно будет получать такие максимальные по густоте модели древостоев. Поэтому наши гипотетические данные вполне реальны.

Ниже помещены две диаграммы: наблюдаемая в действительности связь густота×диаметр слева, и возможная связь в случае «замены» двух пробных площадей с резко уклоняющимися значениями справа (рис. 5.5).

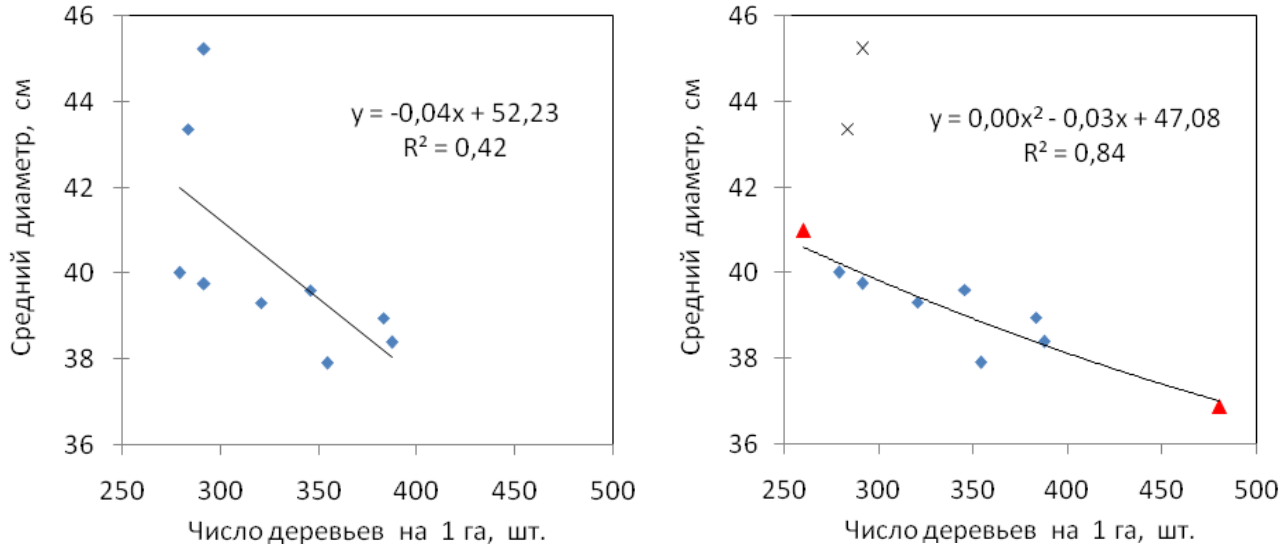


Рис. 5.5. Влияние густоты на средний диаметр сосны на пробах 0.24 га:
треугольные точки – гипотетически возможные значения, крестики – убираемые значения

Как видим, сила влияния фактора густоты после имитации подскочила в 2 раза и достигла 84% (R^2 = 0.84). Еще более сильные изменения произойдут с выборками из шести проб, где имитация замены всего лишь одной из них повысит аппроксимацию тренда связи до R^2 = 0.932 (рис. 5.6).

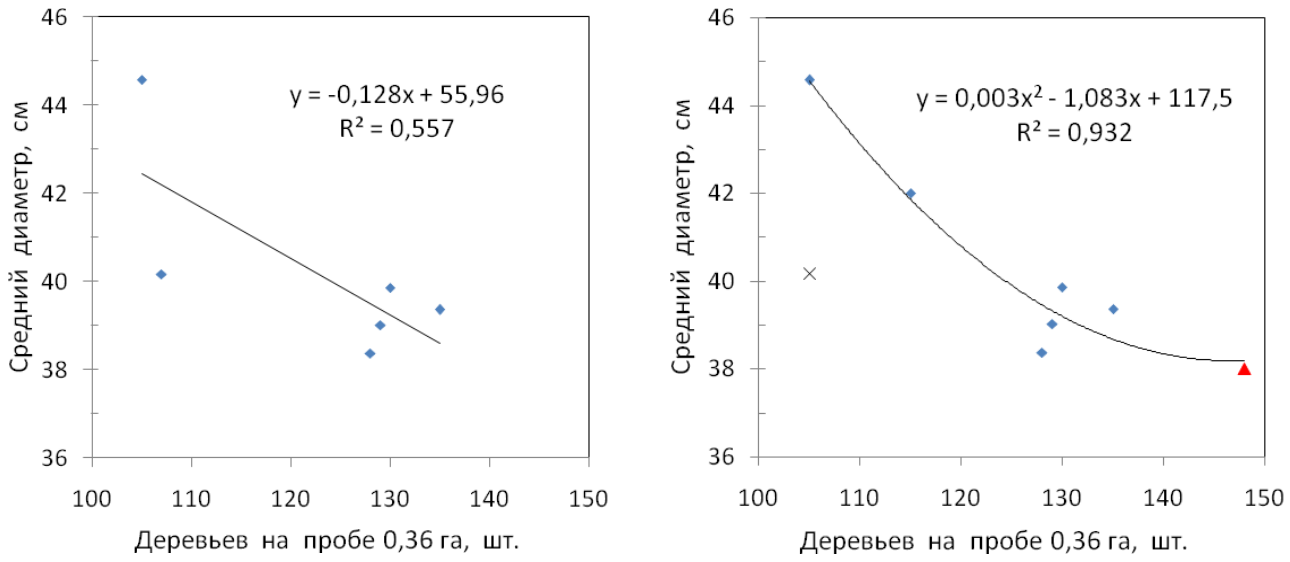


Рис. 5.6. Влияние густоты на средний диаметр сосны на пробах 0.36 га: слева наблюдаемые значения, справа – гипотетически возможные

Показанное субъективное вмешательство человека в подбор данных, которое часто осуществляется еще в полевых условиях, оказывается слишком серьезным по своим последствиям – связи *средней* тесноты превращаются в *высокие*. Все это становится возможным только *при малом числе* пробных площадей. Вероятно, именно так и происходит, когда исследователь намеренно ищет контрастные ситуации на фоне ограничений в затратах, чем всегда и отличалось изучение лесных насаждений. Поэтому всегда следует оговаривать *не-репрезентативность* использованной выборки и не использовать такие контрастные выборки для расчета силы влияния фактора в моделях фитоценологии. Вместе с тем, для исследователей-таксаторов бывает важно найти математико-статистическое описание связей между таксационными показателями – для их использования в таблицах хода роста, разного рода моделях и диаграммах, нужных для определения множества практически значимых показателей; в этом случае поиски способов усиления связей между признаками бывают иногда оправданы, что мы здесь и продемонстрировали.

Однако в данном разделе, как и во всех предыдущих, мы преследовали цели общего плана – установить численное значение силы влияния густоты насаждения на уровне микро- и макроценозов, как фитоценотического фактора. И мы постарались выполнить для такого рода задач необходимые условия подбора изучаемых объектов в случайных выборках.

5.4. Выводы

1. В *макроценозах* (древостоях), при делении территории 2.16 га на 18 пробных площадей размером 0.12 га, естественные флуктуации их густоты в 120–170 лет повлияли на средний диаметр сосны на них в 184 года с силой 47.3%. При такой силе влияния густоты конкуренция между деревьями в древостое является главным фактором влияния на размер деревьев.

2. В *микроценозах*, сформированных механическим делением территории на площадки 10×10 м, их густота в возрасте 120 лет повлияла на их естественное изреживание к 184 годам с силой всего лишь 4.7%. В остальных 95.3% случаев на отпад сосны повлияли другие факторы.

3. Густота микроценозов в 120, 170 и 184 года повлияла на средний диаметр сосны в них с силой 11.8, 9.8 и 8.8% (в среднем 10.1%). При такой малой силе влияния густота, т. е. конкуренция между деревьями уже не является основным фактором, определяющим размер деревьев в микроценозах в спелом и перестойном возрасте.

4. Ослабление в 4.7 раза влияния густоты микроценоза на размер деревьев в сравнении с влиянием густоты на уровне древостоя позволяет утверждать, что в спелом возрасте влияние конкуренции в микроценозах минимально и меняется на взаимную толерантность и партнерство.

5. Полученные результаты совершенно не соответствуют парадигме конкуренции, т.е. мнении о главном ее влиянии на отпад и на размер деревьев во всех структурах древостоя. Возможно, конкуренция *будет* более сильным фактором для этих явлений в молодняках и, возможно, в среднем возрасте, но в спелом древостое влияние локальной густоты микроценоза на отпад и на размер деревьев в нем оказалось крайне малым (4.7–10.1%).

Глава 6. ПЛОЩАДЬ ПИТАНИЯ ДЕРЕВА

6.1. Методика выбора модельных деревьев

Методика изучения площади питания включала в себя выстраивание на готовой карте полигонов вокруг моделей с простым делением расстояний между соседними 7–12 деревьями; далее применяли известные процедуры статистического анализа полученных данных и корреляций между ними с определением достоверности различий.

Методика выбора модельных деревьев, или сокращенно, моделей, должна отражать существенные элементы структуры древостоя. Обычно в лесной таксации их отбирают пропорционально частоте деревьев по ступеням (классам) диаметра с тем, чтобы они отражали структуру ряда распределения по диаметру и обеспечивали репрезентативность выборки. Отбор моделей проводился не в полевых, а в камеральных условиях, и здесь удалось в полной мере выполнить главные условия их правильного выбора – регулярность, случайность и репрезентативность. Для этого на листе Microsoft Excel для участка «Южный» (376 шт. деревьев) провели сортировку по возрастанию их диаметров. Модели выбирали в младших классах вначале через одно, затем через 2–3 дерева, постепенно увеличивая интервал к центральным классам до 10–12 деревьев и далее вновь сокращая его. Это *не было* репрезентативной выборкой, так как число моделей брали заведомо больше для младших и старших классов с целью более точной оценки влияния на их размер расстояний до соседей; но далее эту избыточную выборку можно было сокращать до репрезентативной (табл. 6.1).

В результате избыточного отбора получили 55 моделей, и средний их диаметр составил 39.2±1.35 см. Это почти совпало со среднеарифметическим диаметром на участке, равном 39.1 см. Некоторая неравномерность интервала выбора моделей в старших классах, следующих за модальным классом 40 см, объяснялась нахождением некоторых из них вблизи края участка. Например, в классе 44 см интервал был принят в 7 деревьев с его снижением под конец класса до 5. Но третью модель здесь пришлось выбрать с пропуском не 7, а 9 деревьев, так как сразу два дерева (225 и 228, отмечены звездочкой) находились у края пробы, и правильно рассчитать их площадь питания не было возможности.

Таблица 6.1. Выбор моделей. У выбранных моделей закрашены ячейки

Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева		Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева		Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева
20	2	21,0	351				30,9	292				34,1	590
		21,0	2251				30,9	319				34,1	641
		21,0	601				31,2	105				34,1	1941
24	5	23,6	297				31,2	531				34,4	196
		23,6	496				31,2	596				34,4	301
		23,6	684				31,2	2253				34,4	305
		24,2	219				31,5	311				34,4	510
		24,5	190				31,5	660				34,4	532
		24,5	342				31,5	675				34,4	563
		25,2	318				31,8	506				34,4	570
		25,2	577				31,8	588				34,4	2872
		25,5	562				31,8	647				34,7	349
		25,5	572				31,8	680				34,7	359
		25,5	614				31,8	698				34,7	636
28	5	26,1	493				32,2	191				35,0	498
		26,4	645				32,2	308				35,0	561
		27,1	289				32,2	499				35,0	688
		27,4	517				32,2	543				35,0	3021
		27,4	544				32,2	604				35,1	654*
		27,7	281				32,2	697				35,3	355
		27,7	353				32,5	108				35,7	221
		27,7	356				32,5	350				35,7	605
		28,0	209				32,5	635				35,7	663
		28,0	514				32,8	100				36,0	192
		28,3	492				32,8	104				36,0	284
		28,3	303				32,8	533				36,0	354
		28,3	656				32,8	548				36,0	360
		28,3	665				32,8	618				36,0	485
		29,0	201				32,8	705				36,0	491
		29,0	317				33,1	2752				36,0	537
		29,0	669				33,4	307				36,0	615
		29,3	205				33,4	497				36,0	617
		29,3	302				33,4	500				36,0	689
		29,3	310				33,4	583				36,3	119
		29,3	358				33,4	589				36,3	189
		29,3	1981				33,4	642				36,3	198
		29,6	117				33,4	6331				36,3	291
		29,6	222				33,7	186				36,3	300
		29,6	298				33,7	199				36,3	546
		29,9	573				33,7	347				36,3	569
32	5	30,2	101				33,7	487				36,3	610
		30,2	483		36	8	34,1	207				36,3	652
		30,6	179				34,1	295				36,6	96
		30,6	275				34,1	315				36,6	103
		30,6	309				34,1	489				36,6	107
		30,6	345				34,1	502*				36,6	200
		30,6	679				34,1	576				36,6	276

Продолжение табл. 6.1.

Класс диа-метра	Мо де-лей, шт.	Д, см	№ де-рева		Клас с диа-метр а	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева		Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева
		36,6	287				38,5	521				40,8	197
		36,6	507				38,5	568				40,8	327
		36,6	541				38,5	608				40,8	620
		36,6	582				38,5	632				40,8	644
		36,6	599				38,5	638				40,8	657
		36,9	294				38,5	655				40,8	677
		36,9	566				38,5	670				41,1	494
		36,9	593				38,8	182				41,1	650
		36,9	611				38,8	293				41,4	194
		36,9	704				38,8	312				41,4	210
		37,2	177				38,8	626				41,4	340
		37,2	180				38,8	678				41,4	580
		37,2	220				39,2	202				41,4	674
		37,2	346				39,2	282				41,7	549
		37,2	634				39,2	304				41,7	579
		37,2	2871				39,2	518				41,7	613
		37,2	5421				39,2	524				41,7	690
		37,6	98				39,2	602				42,0	99
		37,6	212				39,2	623				42,0	178
		37,6	213				39,2	624				42,0	547
		37,6	299				39,2	627				42,0	587
		37,6	504				39,2	631		44	8	42,7	95
		37,6	578				39,5	109				42,7	106
		37,6	586				39,5	181				42,7	520
		37,6	591				39,5	215				42,7	648
		37,6	607				39,5	286				42,7	696
		37,9	203				39,5	515				42,7	702
		37,9	542				39,5	595				43,0	102
		37,9	606				39,5	628				43,0	188
		37,9	671				39,5	685				43,0	225*
		37,9	703				39,8	325*				43,0	278*
		37,9	3151				39,8	522				43,0	603
		37,9	5911				39,8	527				43,0	664
40	8	38,2	195				39,8	581				43,0	683
		38,2	206				39,8	619				43,3	204
		38,2	279				40,0	341				43,3	324
		38,2	280				40,1	94				43,3	528
		38,2	285				40,1	184				43,6	211
		38,2	329				40,1	344				43,6	288
		38,2	501				40,1	643				43,6	357
		38,2	526				40,4	216				43,6	560
		38,2	639				40,4	277				43,9	187
		38,2	659				40,4	296				43,9	218
		38,2	662				40,4	314				43,9	536
		38,2	2252				40,4	352				43,9	699
		38,5	306				40,4	540				43,9	700*
		38,5	512				40,4	661				43,9	3051

Окончание табл.6.1.

Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева		Класс диа-метра	Моде-лей, шт.	Д, см	№ де-рева
		44,3	118				48,4	564
		44,3	616				48,7	511 *
		44,3	653				49,0	490
		44,3	682				49,0	535
		44,6	283				49,0	609
		44,6	328				49,0	621
		44,6	565				49,0	692
		44,6	567				49,0	694
		44,6	598				49,7	214
		44,6	622				49,7	217
		44,6	667				49,7	313
		44,6	693				50,0	97
		44,9	509		52	4	50,0	649
		44,9	625				50,3	525
		44,9	658				50,3	538
		44,9	951				50,3	5331
		45,2	348				50,6	224
		45,2	630				50,6	592
		45,2	681				50,9	534
		45,2	691				50,9	629
		45,5	320				51,3	574
		45,5	482				51,3	594
		45,5	597				51,6	600
		45,8	666				51,9	5332
48	5	45,8	695				52,2	93
		46,2	505				52,5	290
		46,2	584				52,5	486
		46,2	637				52,8	326
		46,5	193				53,2	539
		46,5	508		56	3	53,2	701
		46,5	529				54,1	513
		46,5	633				54,4	571
		46,8	519				54,4	651
		47,1	183				54,8	523
		47,1	495				55,1	223
		47,1	612				55,1	575
		47,1	668				56,4	640
		47,1	673				56,7	484
		47,1	676		60	2	57,6	503
		47,4	322				58,3	208
		47,4	646				58,3	530
		47,8	185				58,9	672
		47,8	343				59,2	316
		47,8	488		64	нет	62,7	545 *
		48,0	175				65,3	323 *
		48,1	516		Итого: 55 моделей			
		48,1	687		* - дерево находится у края пробы			

6.2. Влияние расстояния до соседей на диаметр дерева

Прежде всего, мы воспользовались традиционным для лесоводов и таксаторов способом определения нужных показателей на модельных деревьях, как менее затратном. Рассмотрим вначале результаты, полученные при избыточном числе моделей – 55 шт., а затем при репрезентативной выборке моделей из 40 шт. сравним их.

В увеличенной выборке из 55 моделей число соседей у дерева составило в среднем 9.0 шт., а среднее расстояние до соседей 720±16 см при вариации 16.4 %, минимуме 438 и максимуме 1026 см. Корреляция между средним расстоянием до соседей и диаметром дерева оказалась достоверна и равна r = 0.254±0.126 при $t_{факт}$ = 2.01 > $t_{0,95}$ = 2.0. Достоверность аппроксимации линии тренда для степенной регрессии составила R^2 = 0.083 (рис.6.1).

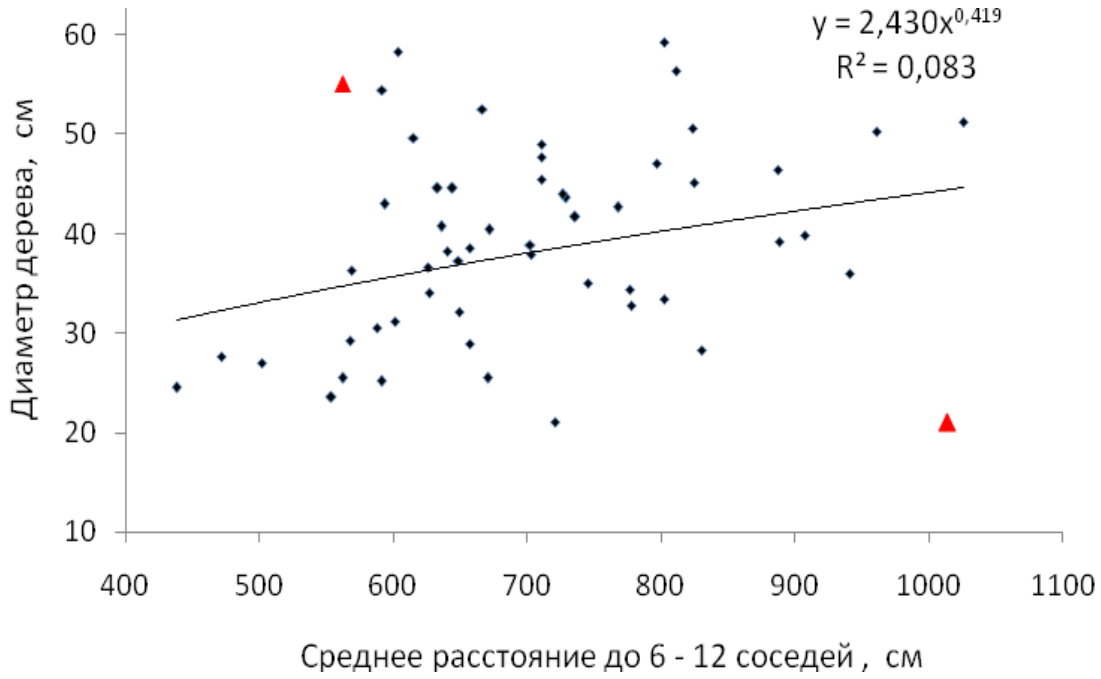


Рис. 6.1. Влияние среднего расстояния до соседей на диаметр модельного дерева. Пояснения в тексте

На этом рисунке пунктиром обозначен средний диаметр, а треугольной точкой модель, которая, скорее всего, не была бы выбрана при «полевом» способе их отбора. Эта точка представляет класс диаметра 20 см с частотой,

где встретилось всего лишь 3 дерева из 376 (и два из них были взяты как модели для увеличенной выборки). Вполне логично было бы их просто не брать. При очистке выборки от одной такой модели корреляция сразу поднимается до r = 0.367±0.116, а достоверность аппроксимации тренда возрастает в 2 раза, до R^2 = 0.168.

Если же выборку из 55 моделей очистить еще и от модели с большим диаметром и малым средним расстоянием до соседей (треугольная точка вверху), то связь увеличится еще больше до r = 0.42±0.11 при достоверности аппроксимации степенной линии тренда R^2 = 0.206.

Подобного рода очистку выборки примерно от 5% уклоняющихся значений часто применяют в таксации при моделировании разного рода нужных связей и составления на их основе различных таблиц, необходимых производству. Обычно как причину браковки принимают во внимание нахождение модели в «не типичном» месте (в биогруппе, вблизи прогалин и т.д.). В предыдущих разделах мы показали, что биогруппы и прогалины – это атрибутивные структуры. Поэтому правомерность такого выбора моделей сомнительна, а из выше изложенного становится понятно, насколько сильно эта процедура влияет на результат, когда очистка от всего лишь от 1–2-х моделей резко увеличивает уровень связей, повышая слабые корреляции до средних, а достоверность аппроксимации в 2–2.5 раза.

Примерно такие же смещения оценок будут получены при поисках «типичных» территорий для моделей, например, вдали от прогалин. Еще один способ «повышения» слабой связи заключается в работе со средними показателями. Так, можно разделить деревья на три группы: отстающие с диаметрами 21–30 см, средние 31–47 см и крупные 48–59 см. Среднее расстояние до соседей у них составит 632, 708 и 755 см. Казалось бы, есть тренд, и чем дальше дерево от соседей, тем больше его диаметр. Такие данные, конечно, можно использовать для моделирования. Однако для расчета *силы влияния расстояния как фактора* такие данные использовать нельзя, так как нужна выборка в целом, причем выборка случайная и репрезентативная. Здесь же, напомним, была выборка из 55 деревьев с намеренным увеличением числа моделей в младших и старших классах диаметра (см. табл. 6.1).

Поэтому далее, в преддверии более трудных расчетов по полигонам питания, число моделей мы сократили, отбирая их случайно в соответствии с частотой классов диаметра из уже готовой первой выборки, где было 55

моделей. В итоге получили близкую к репрезентативной выборку из 40 моделей сосны (рис. 6.2).

В этой репрезентативной выборке корреляция между средним расстоянием до соседей и диаметром дерева оказалась уже не достоверной при r = 0.167±0.15 (детерминация r^2 = 0.028) и аппроксимации степенной линии тренда R^2 = 0.058, также весьма незначительной (рис. 6. 3).

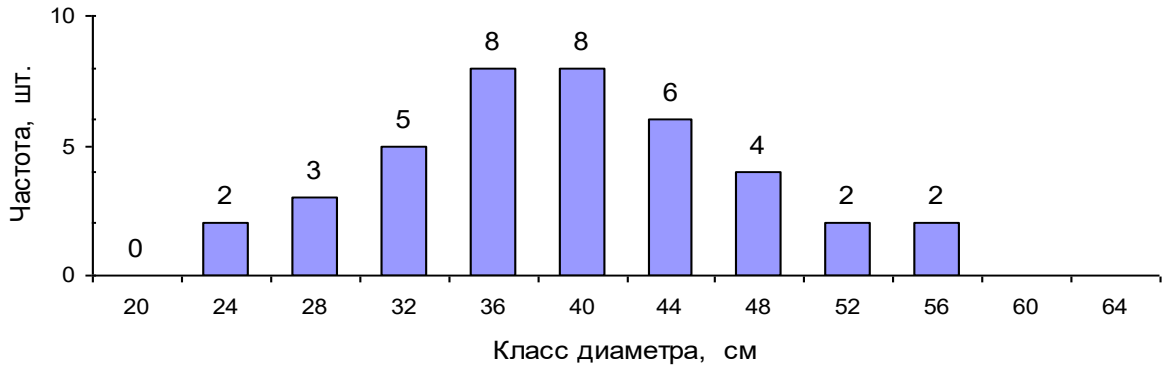


Рис. 6.2. Репрезентативная выборка модельных деревьев в соответствии с частотами сосны по классам диаметра

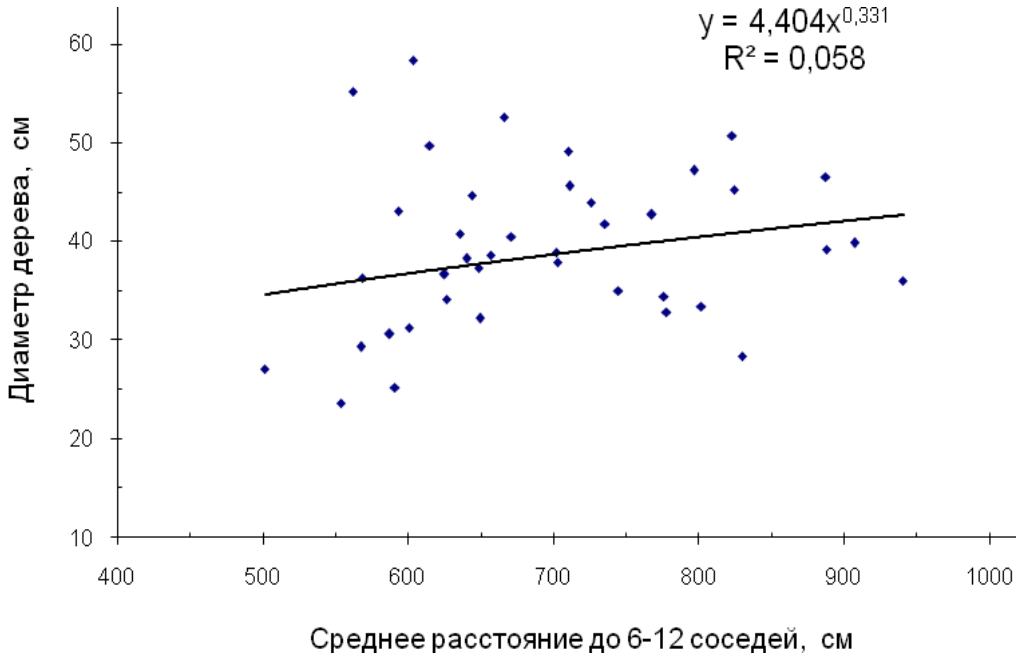


Рис. 6.3. Связь между средним расстоянием до соседей и диаметром модели в репрезентативной выборке

Здесь сила влияния среднего расстояния до соседей на диаметр дерева, определяемая через квадрат корреляции (по коэффициенту детерминации),

будет равна $r^2 = 0.167^2 = 0.028$ или 2.8%, а по достоверности аппроксимации трендов R^2 линейной, степенной и двух полиномов 2-й и 3-й степени ее значения оказываются равны, соответственно, 0.028, 0,058, 0.089 и 0.109. Среднее из этих значений дает оценку силы влияния фактора расстояния на диаметр дерева, равную 7.1%, что еще раз показывает, насколько важно не отступать от процедуры репрезентативного отбора моделей, и в особенности не применять «очистку» выборки от уклоняющихся значений, а также не использовать якобы «типичные» места в древостое при выборе моделей, которые приводят к завышению оценок более чем в 2 раза.

Таким образом, в 184-летнем древостое сосны при репрезентативной выборке моделей корреляция между средним расстоянием до 7–12 соседей и диаметром дерева, равная $r = 0.167 \pm 0.15$ оказалась недостоверной. Эта связь характеризует силу влияния этого расстояния на диаметр дерева как очень слабую (7.1%), что явно противоречит парадигме конкуренции, где влияние расстояния до соседей *должно быть* сильным. Тем не менее, в спелом древостое на уровне *микроценозов,* т.е. при индивидуальном взаимодействии деревьев-соседей, влияние фактора расстояния между ними оказалось, по сути, ничтожным и его влиянием вполне можно даже пренебречь.

В других крупных исследованиях, посвященных изучению конкуренции между деревьями, такому ослаблению конкурентного давления соседей есть подтверждения не только в древостоях среднего возраста [Демаков и др., 2011; Демаков, 2018], но даже и в молодняках сосны различной густоты, где сила влияния индекса конкуренции на показатели фитомассы и прироста площади сечения дерева составила всего лишь 5 и 11%, и только для прироста в высоту ее влияние достигало 36% [Усольцев, 2013]. В этих работах были использованы модельные деревья с равной выборкой из всех ступеней толщины.

Но расстояние от модели до 6–12 соседей – это все же приблизительная характеристика его взаимоотношений с ними при оценке использования деревом почвенных и световых ресурсов питания. Более точным показателем будет, безусловно, площадь питания, которая будет рассмотрена ниже.

6.3. Влияние площади питания дерева на диаметр ствола

Методика выстраивания полигонов питания подробно описана в литературе [напр., Тябера, 1976; Усольцев, 2013; Усольцев и др., 2018]. В нашем случае эту работу мы начинали с выбора модельного дерева, после чего на плане его соединяли линиями с 4–8 деревьями-соседями. На этих линиях-лучах находили середину и отмечали ее крестиком. В качестве примера показан фрагмент такой работы при неравномерном размещении деревьев и при выстраивании полигонов вокруг всех деревьев (рис. 6.4).

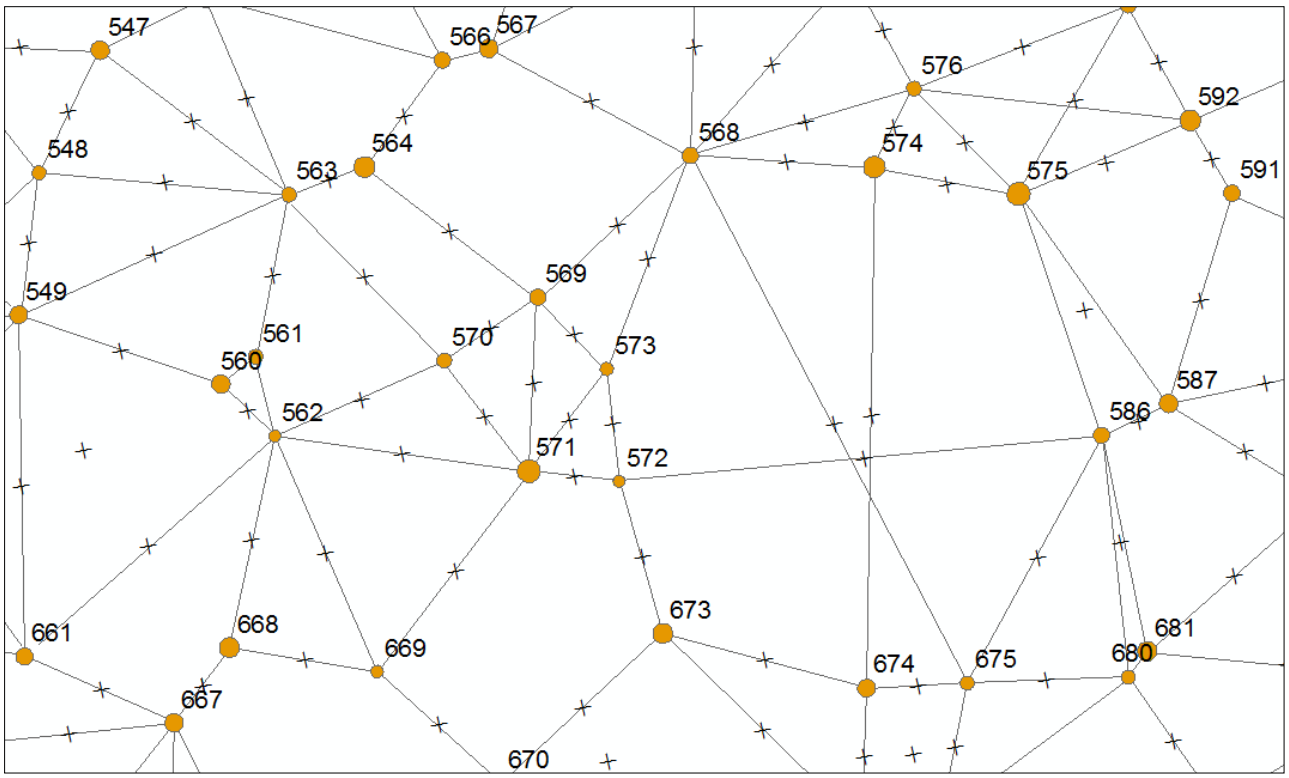


Рис. 6.4. Соединение линиями 4–8 деревьев-соседей
и отметка середины расстояния между ними

Далее от крестика в обе стороны прокладывали перпендикулярные линии до соединения с такими же линиями от соседнего луча. В результате получали многоугольники разной формы. Там, где были прогалины, правило перпендикулярности нарушалось, так как требовалось свести вместе до 6–7 полигонов, причем в точке, от которой до деревьев по краю прогалины было бы примерно равное расстояние. Вторым моментом было нахождение «точек

компромисса» в районе расположения биогрупп. Всего таких точек, обозначенных более крупным крестом, на рисунке показано четыре (рис. 6.5).

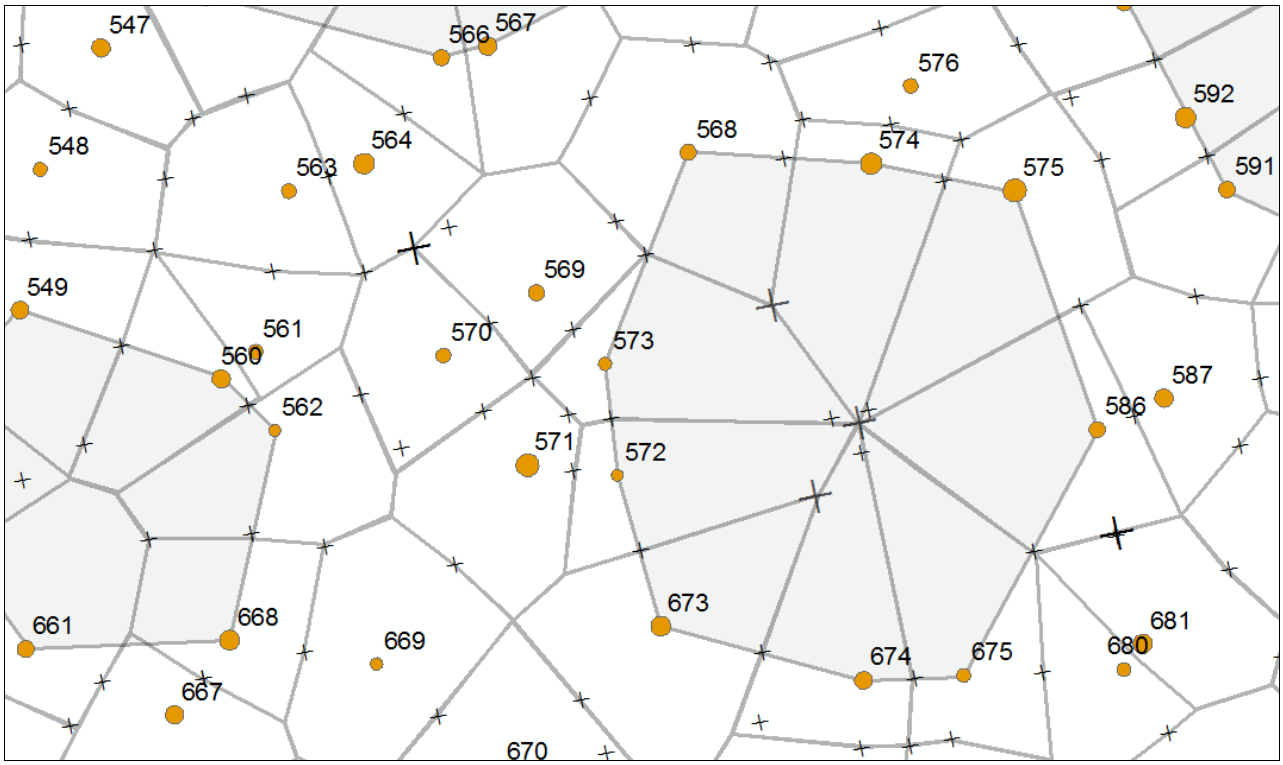


Рис. 6.5. Выстраивание полигонов питания деревьев сосны в 184-летнем древостое. Прогалины затемнены

Построение полигонов для выбранных случайно и репрезентативно 40 моделей показало, что доставшаяся дереву площадь питания повлияла на его диаметр в возрасте 184 года в очень слабой степени. Корреляция этих показателей оказалась равна r = 0.30±0.14 (коэффициент детерминации 9.0%), при аппроксимации тренда линейной связи R^2=0.010, что дает оценку силы влияния площади питания на диаметр дерева на уровне всего 1.0%. Такие разночтения в оценке силы влияния (9.0% и 1.0%) вполне объяснимы небольшой (всего 40 шт.) выборкой деревьев для проведенных рачетов.

Поэтому далее мы провели сплошное построение полигонов, тем более, что при их выстраивании вокруг моделей сразу выяснилось, что для точной прокладки контура их нужно было выстраивать также и у 3-5 соседей, особенно вблизи прогалин и в биогруппах. Полигоны питания для всех деревьев, исключая деревья по краям участка, показаны на рисунке (рис. 6.6).

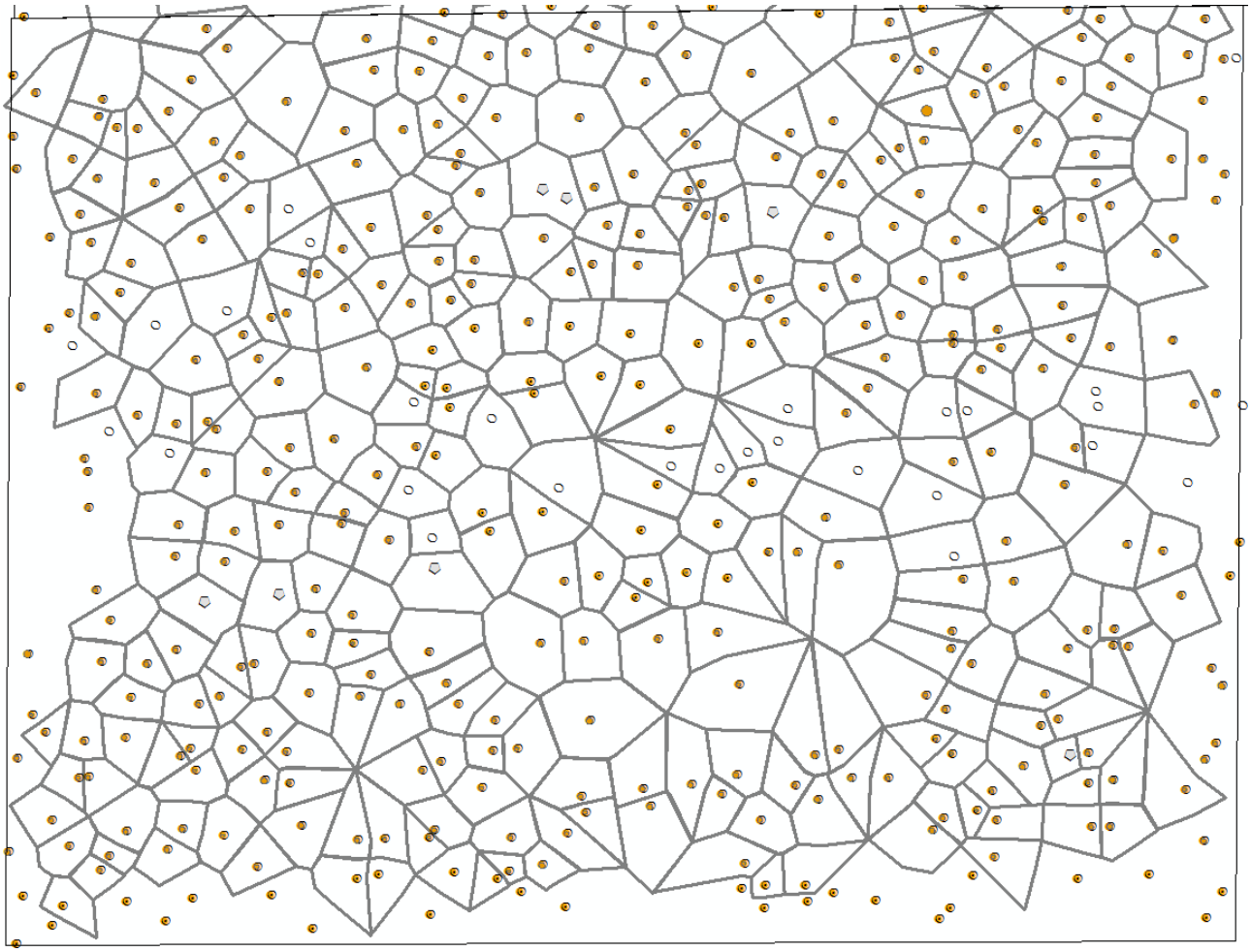


Рис. 6.6. Полигоны питания на участке «Южный»: точки – живые деревья; овалы – деревья, вываленные ветром 14 лет назад и недавно отпавшие. Площадь 1.094 га

Всего удалось рассчитать площади питания у 323 деревьев из 375. Максимальное ее значение оказалось 79,9 м^3 и минимальное 7.9 м^3, среднее значение 25.7±0.58 м^3, вариация 40.9%. Исследование полигонов показало, что деревья использовали доставшиеся им индивидуальные площади питания совершенно по разному. Между площадью питания дерева и его диаметром корреляция оказалась равна r = 0.277±0.051, которая была достоверна ($t_{факт}$ =5.4 > $t_{0.99}$ = 2.6). Коэффициент детерминации на ее основе равен 0.077, что оказалось очень близко к показателям достоверности аппроксимаций линий регрессии: линейной (R^2 = 0.076), степенной (R^2 = 0.075) и полиномиальной (R^2 = 0.078). Это дает довольно точную оценку силы влияния доставшейся дереву площади питания на его диаметр в 184 года, рассчитанную как средняя величина по этим показателям и равную 7.7% (рис. 6.7).

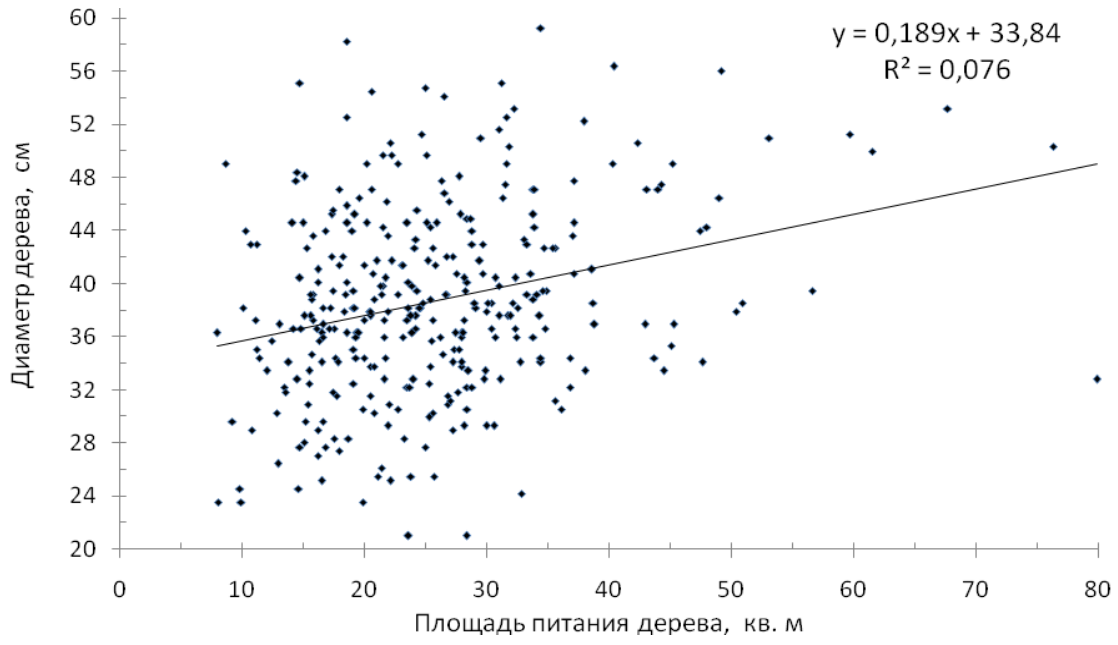


Рис. 6.7. Влияние площади питания дерева на его диаметр

Заметим, что при исключении из этой выборки лишь одного значения (точка в правом нижнем углу на поле диаграммы) связь поднималась до r = 0.303±0.051, а значения аппроксимации увеличивались до R^2 = 0.091. Как видим, здесь даже «очистка» выборки от резко уклоняющихся значений мало что изменила. Связь все равно осталась на слабом уровне, практически не значимом для моделирования, так как не превышает даже уровень в 10%. Такая связь никак не может быть основанием для утверждения о том, что «чем больше дереву досталась площадь питания, тем крупнее оно сформировало ствол к возрасту спелости». Здесь имеется лишь тенденция. Аппроксимация линейного тренда на рисунке (R^2 = 0.076) показывает, что лишь 7.6% изменчивости диаметра дерева детерминировано доставшейся ему площадью питания. В самом деле, разброс точек настолько велик, что при модальной площади питания 15–35 м^2 сформировались деревья как самые мелкие, так и самые крупные, с колебаниями диаметров от 21 до 59 см.

Выстраивание полигонов питания требует сложных интерполяций. Более простым будет метод замера расстояний до 7–12 соседей, поэтому будет интересна связь между средним расстоянием до этих соседей и площадью питания. Корреляция, рассчитанная по 40 модельным деревьям, оказалась

среднего уровня (r = 0.57±0.11), а это значит, что заменить площадь питания средним расстоянием до соседей получается не точно.

Так как в нашем распоряжении была достаточно большая выборка из 323 деревьев, то мы разделили ее на две части: в первую часть отобрали деревья, площадь питания которых захватывала территорию прогалин (125 шт.), а во вторую те, которые находились вдали от них. Т.е. как бы суммировали микроценозы «редкие» и микроценозы «густые». Оказалось, что средние диаметры деревьев в первых были несколько выше (40.1±0.7), чем в густых микроценозах (37.8±0.5), и это было ожидаемо.

Неожиданным оказалось другое, а именно, что деревья вблизи прогалин более активно воспользовались доставшейся им дополнительной площадью питания, и при ее средней величине 31.5±1.0 $м^2$ она коррелировала с диаметром дерева (r = 0.400±0.075). Однако в местах без прогалин площадь питания оказалась равна 22.0±0.6 $м^2$ и вообще не влияла на диаметр дерева, так как корреляция оказалась близка к нулю (r = 0.081±0.071). Т.е. если в структуре древостоя прогалины отсутствуют, то площадь питания деревьев уже не влияет на их размер. И это опять-таки противоречит устоявшимся представлениям о том, что в микроценозах деревья якобы *должны* в обязательном порядке использовать увеличение индивидуальной площади питания и увеличивать в результате размеры ствола и прирост.

6. Обсуждение результатов и выводы

Размеры деревьев сосны оказались только на 7.7% обусловлены влиянием площади питания, а 92.3% изменчивости их размеров определяло влияние неизвестных и неучтенных факторов. Это намного ниже результатов других авторов при расчетах площади питания по полигонам, где при «полевом» способе отбора моделей (т.е. вдали от окон и прогалин) влияние площади питания достигало в среднем 27 % [Нагимов, 2000]. У других авторов ранее [Поляков, 1973; Мартынов, 1976; Тябера, 1982] получались близкие результаты. Но у них были преимущественно типические выборки и неслучайная методика отбора моделей вдали от прогалин, а также вне биогрупп, которая приводила к существенному завышению получаемых связей. Кроме того, авторы стремились увеличить их уровень, используя далее «пропорциональные»

расстояния и полигоны питания, где размерные характеристики дерева влияли на эти расстояния и площадь полигонов питания, уменьшая их для малых и увеличивая для крупных деревьев.

Полученные нами выше экспериментальные факты оказались существенно иными, и они в целом лишают теоретических оснований давнее положение (точнее, до сих пор не доказанную гипотезу) лесоводства о том, что при увеличении индивидуальной площади питания деревья *должны* увеличивать свои размеры, так как конкуренция ослабевает. Действительно, она становится меньше. Однако получаемые результаты, включая исследования других авторов [Сеннов, 1999; Демаков и др., 2011], в том числе в молодняках [Усольцев, 2013] свидетельствуют, что таких деревьев, «правильно реагирующих» на увеличение личной площади питания оказывается меньшинство. И в литературе есть сведения, подтверждающие отсутствие влияния расстояния до ближних соседей на размер деревьев-лидеров.

Это обнаружилось в культурах сосны одинаковой густоты, но с разным индексом равномерности, при схемах посадки 2.2×2.2 м, 5.0×1.0 м, а также 1.5×1.5 м и 2.0×1.1 м. Оказалось, что сокращение шага посадки с 2.2 до 1.0 м, т. е. в 2.2 раза, достоверно не повлияло размер 500 и 1000 самых крупных деревьев на 1 га в возрасте 35 лет [Плантационное…, 2007, с. 133–137].

По-видимому, здесь дело в том, что именно в возрасте 20–35 лет в большинстве древостоев высших классов бонитета разворачивается основная драма их развития с достижением максимума прироста, после которого он снижается и начинается фаза регресса в развитии древостоя как сообщества, и на этот тренд повлиять уже очень трудно [Рогозин, 2018*а*]. Однако здесь возникает парадокс – прирост фитоценоза падает, но его сохраняют крупные деревья, продолжающие развивать свои кроны. Лесовод стремится увеличить для них площади питания, удаляя соседей-конкурентов (и получить при этом деловую древесину). Казалось бы, после этого деревья *должны* увеличивать свои кроны и прирост более интенсивно, но в большинстве случаев этого не происходит, так как в 30–45 лет в полную силу проявляет себя закон морфогенеза древостоев Г. С. Разина с переходом их развития к регрессу, когда текущий прирост резко падает. Именно в это время срабатывает также и важнейший механизм гомеостаза популяции с изменением частот правых и левых форм, имеющих доказанные генетические отличия. Дело в том, что

каждая популяция включает в себя популяции-изомеры (правые и левые формы), а изменение их частот – необратимый процесс и их частота сохраняется далее до возраста естественной спелости, обеспечивая устойчивость фитоценоза путем регуляции текущей густоты в этот критический период с помощью генетических механизмов и отмирания части этих форм, не имеющих адаптации к усилению конкуренции и выживают особи партнерского типа. Этот процесс был объяснен с генетических позиций на примере модельных культур сосны и ели [Голиков, 2014; Рогозин, 2018*а*].

Однако если использовать «пропорциональные» полигоны питания, (повторно отметим, что такие полигоны зависимы от размеров дерева), то мы получим площадь питания, которая будет давать предсказуемо более высокую связь с приростом и размером деревьев в центре таких полигонов. Они используются в способах Штера, угловых проб и их модификаций с учетом размеров крон и коэффициентов конкурентного давления [Нагимов, 2000; Вайс, 2014], а также в исследованиях с использованием так называемых «областей доминирования» [Борисов и др., 2014; Иванов и др., 2017]. На наш взгляд, необходимо весьма критично отнестись к таким полигонам, так как они дают зависимые переменные и не могут выступать в качестве факторов.

Влияние доставшейся дереву индивидуальной площади питания на его диаметр оказалась у нас почти в 8 раз слабее, чем это получалось у ряда авторов при расчетах площади питания по пропорциональным полигонам, т. е. при ее расчете по зависимым переменным величинам. Так, расчеты по нескольким корреляционным отношениям по данным обширного исследования З. Я. Нагимова [Нагимов, 2000] показали, что пропорциональная площадь питания действует там на размер дерева с силой в среднем 59%. Однако в нашей последней работе [Рогозин, 2018*б*] мы показали, что ее применение в качестве фактора некорректно. Доверяя авторитетам, мы еще совсем недавно ошибочно считали ее фактором, действующим с силой 59% [Рогозин, 2018*а*], так как это хорошо согласовывалось с представлениями о древостое как сообществе растений, объединенных борьбой за существование [Сукачев, 1953], где конкуренция играет главную роль, и где влияние площади питания *должно быть* сильным. Эта идеологема, что называется, застилала глаза и мешала разглядеть нестыковки давней теории естественного отбора с ее «борьбой за существование» с многообразием реальных взаимодействий

деревьев. В насаждениях конкуренция является всего лишь одним из типов взаимодействий – наряду с толерантностью и партнерством, которые проявляют себя, например, разнесением во времени на 1–2 недели пика прироста у деревьев при их близком расположении, что было зафиксировано в биогруппах в девственных елово-пихтовых лесах Урала [Горячев, 1999].

Поэтому, для проверки наших подозрений о резком повышении влияния пропорциональных полигонов питания на размер дерева, мы специально рассчитали также расстояния между центральным деревом и его 7–12 соседями с делением расстояния к ним на две части пропорционально их диаметрам. В результате получили «пропорциональные» расстояния до соседей. Вполне ожидаемо связь между средним «пропорциональным» расстоянием до них и диаметром дерева сразу возросла до $r = 0.60 \pm 0.09$ при аппроксимации связи $R^2 = 0.364$, а в увеличенной выборке из 55 моделей корреляция повысилась вообще до $r = 0.71 \pm 0.07$. И это увеличение было вызвано не повышением силы «влияния» расстояний, а расчет этих расстояний так, что в них *уже было влияние* размера дерева на это расстояние (большую половину расстояния приписывали крупному, а меньшую – мелкому дереву). Естественно, корреляции резко возросли, и была получена оценка «силы влияния» в 36.4%, которая сразу увеличилась на порядок в сравнении с влиянием независимой переменной (простого среднего расстояния до соседей), где ее влияние было всего лишь 2.8%.

Вполне очевидно, что далее и пропорциональная площадь питания, как зависимая переменная, также будет образовывать более высокую связь с диаметром дерева. И проверка ее повышения уже не нуждается в дополнительных расчетах, которые достаточно сложны. По-видимому, использование пропорциональных полигонов в качестве «фактора», влияющего на прирост и на размер дерева происходит по недоразумению, допущенному в самом начале их применения в 1970-е годы [Assmann, 1961; Поляков, 1973; Тябера, 176]. В таких полигонах *уже есть* влияние размера дерева, так как большая часть площади приписывается крупному, а меньшая – мелкому дереву.

Анализ темы конкуренции деревьев в работах отечественных и зарубежных исследователей в историческом аспекте показал [Усольцев и др., 2018], что указанное «недоразумение» с пропорциональной площадью питания и ее широким применением [Вороной, 1952; Тябера, 1982; Нагимов, 2000;

Грабарник, 2010; Борисов и др., 2014] получилось не случайно. Дело в том, что с конца 19 века в биологии начала доминировать теория отбора Ч. Дарвина с его борьбой за существование и выживанием сильнейших особей. Буквально единичные работы посвящались изучению кооперации и партнерства. Дарвинизм и поныне является «…отправной точкой любого биологического исследования по умолчанию» (Усольцев и др., 2018, с. 234). Грубая модель эволюции Ч. Дарвина была навязана всему миру его воинствующими последователями-атеистами, преследовавшими политические цели (Баландин, 2010). Множество противоречащих дарвинизму работ более 100 лет не включались в парадигму биологии вплоть до 21 века, начиная от работ выдающихся ученых К. Ф. Кесслера, В. М. Бехтерева, В. В. Докучаева. Они полагали, что «…организация сообществ построена на единстве процессов конкуренции и кооперации как в животном, так и в растительном мирах. При этом закон взаимной помощи в прогрессивной эволюции играет гораздо более важную роль, чем закон взаимной борьбы» [Усольцев и др., 2018, с. 236].

Недавно появились работы [Демаков и др., 2011; Демаков, 2018], где многомерный пространственный анализ с подробным картированием деревьев показал, что их размеры зависят в большей степени не от внутривидовой конкуренции, а от экологической неоднородности биотопа и наличия в нем благоприятных и неблагоприятных зон. Еще в одной из работ изучение микроценозов в 80–150-летних смешанных древостоях с высокой полнотой, состоящих из шести пород показало [Шанин, 2015], что деревья освоили большинство учетных площадок размером 5×5 м очень слабо, так как полнота и густота их оказалась низкой, а диаметр деревьев небольшим. Число же площадок с очень высокой полнотой составило всего 1.6–3.7 %. Деревья на них оказались очень крупные, при этом также и число деревьев на них было выше среднего уровня. Данный феномен авторы [Демаков и др., 2011] предложили доказывать в дальнейших исследованиях с трех позиций: наличием в биотопе особо благоприятных зон для роста деревьев; наследственными свойствами особей; проявлением принципа агрегации особей Олли, т.е. эффектом группы [Alle, 1931, 1938; Одум, 1975; Титов, 1978; Марченко, 1995].

Современные методы пространственного анализа, в частности, работа со слоями карт в программе ArcMap, позволили нам получить новые данные, подтверждающие полученное ранее резкое снижение конкуренции между

деревьями в спелом возрасте [Рогозин, 2018*в, г*]. Данные эти чрезвычайно важны. Они позволяют утверждать, что фенотип дерева в древостое определяют отнюдь не конкуренты-соседи, которые, как принято пока считать, ограничивают ресурсы питания и влияют на размер индивидуальной площади питания дерева в микроценозе, а иные факторы, которые пока неизвестны или трудноопределимы.

Итак, по средним показателям достоверности аппроксимаций трендов между площадью питания дерева и его диаметром сила влияния площади питания составляет всего лишь 7.7%. Более сильным фактором по литературным данным можно считать генотип дерева, действующего с силой около 30%. Вследствие этого можно утверждать, что размер дерева в насаждении определяет в первую очередь его генотип, действующий в 4 раза сильнее, чем доставшаяся дереву площадь питания. В сумме эти два фактора определяют размер дерева не более чем на 40%. В итоге получается, что нам неизвестна большая часть (более 60%) факторов, определяющих размеры деревьев в древостое. Поэтому в практическом плане рубки ухода в среднем и приспевающем возрасте (прореживания, проходные рубки), которые увеличивают индивидуальные площади питания деревьев, теоретически могут повлиять на размер деревьев к возрасту спелости с силой менее 10%. Во много раз сильнее (в 3-4 раза) повлияет генотип, проявления которого опознаются по деревьям-лидерам и которые следует сохранять даже при самых малых расстояниях между ними (в биогруппах).

Именно на генетический фактор и должны быть направлены усилия лесоводов, обеспечивая крупным деревьям комфортные условия с самого раннего возраста, с проведением активной регуляции *общей густоты* фитоценоза, которая действует на размеры *всех деревьев* насаждения с силой около 90% [Нагимов, 1999, 2000]. Даже небольшие флуктуации густоты в пределах однородного древостоя влияли на диаметры деревьев с силой в 47%, что было показано в главе 5. Регуляцию густоты следует заканчивать задолго до наступления максимума прироста, т. е. в возрасте не позднее 15–20 лет.

Полученные результаты весьма серьезны – они меняют наше общее представление о силе влияния расстояний между деревьями и площадями их питания на их продукционные показатели. Прежде они считались сильными факторами априорно, а теперь, по результатам наших исследований в старых

насаждениях сосны, будут отнесены к факторам, слабо влияющим на размер соседствующих деревьев. И это слабое влияние регистрируется здесь как результат всего предшествующего развития деревьев в насаждении. При этом остаются невыясненными их численные значения в прошлом. Поэтому для выяснения их влияния в динамике нужны дальнейшие исследования на репрезентативных выборках в более молодых насаждениях.

Выводы

1. В репрезентативной и случайной выборке моделей (40 шт.) в возрасте 184 лет корреляция между средним расстоянием до 6–12 соседей и диаметром дерева в центре полигона питания оказалась недостоверна и равна $r = 0.167 \pm 0.15$, что дает детерминацию $r^2 = 0.028$. Для этой связи показатель аппроксимации тренда полинома 2-й степени был равен $R^2 = 0.008$. Эти показатели характеризуют силу влияния среднего расстояния до соседей на диаметр дерева как ничтожно малую и близкую к нулю (0.8–2.8%).

2. В той же выборке между доставшейся дереву площадью питания и его диаметром корреляция оказалась достоверна и равна $r = 0.293 \pm 0.145$ (детерминация $r^2 = 0.086$). Аппроксимация линии тренда линейной связи оказалась равна $R^2 = 0.092$, а по полиномам 2-й и 3-й степени $R^2 = 0.012$ и 0,036. Среднее из этих трех значений показывает, что в репрезентативной и случайной выборке сила влияния площади питания на диаметр дерева равна 4.7%.

3. В нерепрезентативной выборке, с ее увеличением за счет мелких и крупных деревьев до 55 шт., корреляция между средним расстоянием до 6–12 соседей и диаметром дерева в центре полигона питания оказалась достоверна при $r = 0.254 \pm 0.126$. Показатель аппроксимации тренда для степенной регрессии составил $R^2 = 0.083$, что указывает на очень слабую (8.3%) силу влияния среднего расстояния до соседей на диаметр центрального дерева.

4. В совокупной выборке из 323 деревьев между доставшейся дереву площадью питания и его диметром существует достоверная корреляция $r = 0.277 \pm 0.051$ (коэффициент детерминации 0.077), что близко к показателям аппроксимаций регрессий: линейной 0.076, степенной 0.075 и полиномиальной 0.078. Эти показатели дают точную оценку силы влияния доставшейся дереву площади питания на его диаметр в 184 года, равную 7.7%.

5. При разделении совокупной выборки на две части, в первую из которых отобрали деревья, площадь питания которых захватывала территорию

прогалин, а во вторую те, которые находились вдали от них оказалось, что средние диаметры в первой группе были выше (40.1±0.7), чем во второй (37.8±0.5), и это было ожидаемо. Неожиданным оказалось другое, а именно, вблизи прогалин деревья более активно использовали доставшуюся им площадь питания, и она коррелировала с диаметром дерева при r = 0.400±0.075, тогда как в местах без прогалин площадь питания дерева вообще не влияла на его диаметр при корреляции, близкой к нулю (r = 0.081±0.071).

6. Сила влияния доставшейся дереву площади питания на его диаметр оказалась в 2–4 раза меньше, чем у других авторов, использующих способ деления расстояний между соседями пропорционально их размерам, т.е. зависимые переменные величины. Их использование в качестве «фактора» происходит по недоразумению, допущенному в самом начале их применения в 1970-е годы. В таких полигонах уже есть размер дерева, так как большая часть площади приписывается крупному, а меньшая – мелкому дереву, пропорционально их диаметрам или размерам крон.

7. С общебиологической точки зрения полученные данные позволяют утверждать, что конкуренция окружающих соседей влияет на фенотип дерева в спелом древостое с силой 7.7%. На иные факторы, большая часть которых неизвестна или трудноопределима, приходится остальные 92.3% влияния.

8. Имитация очистки выборки, состоящей из 55 полигонов питания, всего от 1–2-х уклоняющихся значений резко увеличивала связи, повышая корреляции и аппроксимацию трендов связей в 2 –2.5 раза. Решающую роль играет браковка центрального дерева при выборе моделей в якобы «не типичных» местах, например, в биогруппах или вблизи прогалин.

Глава 7. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ОДНОЯРУСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ

7.1. Известные законы – естественного изреживания, ранговый закон роста, закон морфогенеза древостоев

Закон естественного изреживания древостоев был сформулирован Г.Ф. Морозовым в 1920 г. [по Тихонову, 2011]. В соответствии с ним древостой развивается из появившегося самосева и молодняка в спелый древостой с естественным сокращением числа деревьев на единице площади. Различия в начальной густоте возникающего древостоя бывают просто огромны – от нескольких сотен и до десятков тысяч деревьев на 1 га. К спелости, однако, их остается не более 500–700 шт./га. Тысячи деревьев погибают.

Это был самый первый закон, на логических выводах из которого было основано, по сути, все классическое лесоводство. Он настолько очевиден, что о нем даже не упоминают в учебниках и инструкциях, а сразу переходят к его использованию, распределяя деревья на три категории: I – лучшие, II – вспомогательные, III – нежелательные [Правила…, 2017]. Он находит подтверждение на множестве примеров и не нуждается в специальном доказательстве. Его действие отражают все таблицы хода роста основных лесообразующих пород.

Ранговый закон роста деревьев в молодняках Е.Л. Маслакова [Маслаков, 1984]. В соответствии с ним, начиная с возраста 6–8 лет деревья растут, просто увеличивая свои размеры, оставаясь в основном либо крупными, либо мелкими; средние растения меняют свои ранги как вверх, так и вниз. Так, в посадках сосны между площадями сечения деревьев в 10 и 40 лет корреляционное отношение имеет значение 0.88, а в 15 и 40 лет эта связь оказывается почти функциональной [Маслаков, 1984, с. 97].

Мы показали [Рогозин, 2015], что действие этого закона усиливается в культурах с меньшей густотой, где будущие деревья-лидеры диагностируются уже в 4–5 лет, и вероятность их выявления составляет 68% для сосны и 64 % для ели, а в 7–10 лет эти вероятности возрастают до 74–76 %. Ослабление же этого закона происходит в более густых культурах и выражается в том, что самые мелкие растения начинают формировать во много раз больше крупных стволов. Так, при сокращении расстояния между растениями в ряду от 0.69 –

0.75 м до 0.55–0.60 м вероятность формирования деревьев-лидеров из мелких стволиков возрастала от 4 до 26 %, т.е. в 6 раз.

Именно в густых молодняках сосны в прошлом видный лесовод Г.Р. Эйтинген (о котором уже шла речь в разделе 1.6) как раз и обнаружил аналогичное резкое повышение рангов роста у мелких растений. Далее из этого явления он выстроил *идеологему* интенсивных рубок ухода по верховому способу, где для мелких растений освобождали жизненное пространство за счет рубки крупных деревьев-лидеров с мощной кроной. В старых учебниках им иногда приписывали некие особенно сильные свойства по подавлению соседствующих деревьев и называли «дерево-волк». Сравнение сильно действовало на неокрепшие умы студентов и оставалось у них на всю жизнь – возникало желание идти и немедленно «спасать» слабые деревца от агрессии жирующих крупных деревьев. Разрушить этот яркий образ нелегко, и «зоо-модель» дерева-волка находит своих сторонников до сих пор.

Ранговый закон Е.Л. Маслакова и его подтверждение в работах других исследователей [Дворецкий, 1966; Комин, 1970; Котов, и др., 1977; Рогозин, Разин, 2015] лишает теоретических оснований концепцию верхового способа рубок ухода, предложенную Г.Р. Эйтингеном.

Закон морфогенеза одноярусных древостоев Г.С. Разина вначале был сформулирован как «основная закономерность морфогенеза простых одноярусных древостоев» [Разин, 1979], и только спустя 30 лет был отнесен к рангу закона [Рогозин, Разин, 2012]. Согласно ему древостой лишь один раз за свою жизнь достигает предельных состояний развития по целому ряду показателей (сомкнутости крон, сомкнутости полога, сумме площадей сечений стволов, текущему приросту и запасам древесины) после чего снижает их тем раньше и сильнее, чем выше была его начальная густота. Параметры густоты были определены от 0.7–1.0 до 170 тыс. шт./га. В соответствии с ним развитие древостоя четко делится на два периода: прогресс и регресс. Для них нужен совершенно разный тип хозяйственного воздействия (управления древостоем) – активный на стадии прогресса и пассивный – на стадии регресса. Активное воздействие включает в себя интенсивную регуляцию густоты рубками, пассивное – удаление только отмирающих деревьев [Рогозин, Разин, 2015].

В разделе 1.5 «Модели развития одноярусных древостоев» об этом законе уже шла речь, а именно, что регресс очень густых моделей начинается

уже с 15 лет. Закон этот конкретизирует действие закона популяционного максимума и закон предельной численности популяции в экологии [Одум, 1986]. Биологам они известны, но их проявления в лесных насаждениях убедительно показали на математико-статистических моделях пока только Г.С. Разин и З.Я. Нагимов [Рогозин, Разин, 2015; Нагимов, 2000].

Следует также вспомнить о том, что первые попытки связать действие всеобщих законов природы с законами роста древостоев появились с началом применения статистических методов в начале 20 века. Известный лесовод-таксатор проф. Н.В. Третьяков [1927] обнаружил в распределении диаметров деревьев их соответствие распределению случайных величин по закону Лапласа-Гаусса, в котором проявляет себя и всеобщий закон «Золотого сечения» [Чернов, 2012]. Это послужило тогда для Н. В. Третьякова основанием для введения «Закона единства строения древостоев». Но далее исследователи начали проверять его и обнаружили нарушение «единства» в асимметрии диаметров в среднем возрасте. Т. е. закон оказался частной закономерностью, причем для древостоев только спелого возраста.

Неудача с выдвижением этой закономерности в качестве закона послужила сильным отрезвляющим моментом. Поэтому далее лесоводы очень осторожно стали относиться к введению новых законов, предпочитая и даже рекомендуя называть их «закономерностями». Именно по этой причине обнаруженный закон развития одноярусных древостоев Г.С. Разина [1979] был допущен к публикации с условием, что он будет назван как «основная закономерность», о чем мне рассказывал сам автор этого закона. Такое название закона сразу понизило его статус до заурядного явления и на 30 лет задержало его признание и споры о том, закон ли это, продолжались до 2015 г.

В конце 20 века очень мощно развивалась экология, где в отличие от лесоводов ученые-экологи не стеснялись называть открытые закономерности законами. За относительно короткий срок к 1990 годам число законов и правил в экологии насчитывалось уже около 20 (Реймерс, 1994).

Лесоводство же по-прежнему остерегалось «лесные» закономерности называть законами, а экологи не вмешивались в лесные науки, которые детально занималась моделями роста и развития древостоев. Популяризации закона Г.С. Разина мы посвятили целую серию работ, в том числе критических. Читателей, интересующихся моделями хода роста, мы отсылаем к монографии (Рогозин М. В., Разин Г. С. Развитие древостоев: модели, законы, гипотезы

[Электронный ресурс]. Пермь: ПГНИУ, 2015. 277 с. (11 Мб). URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793). В ней также есть поучительная история о том, почему же этот закон, а также закон Е.Л. Маслакова оставались неизвестными лесоводам более 30 лет.

Возьмем несколько абзацев из данной монографии для иллюстрации закона Г.С. Разина и покажем график, не раз уже публиковавшийся в наших работах (рис. 7.1).

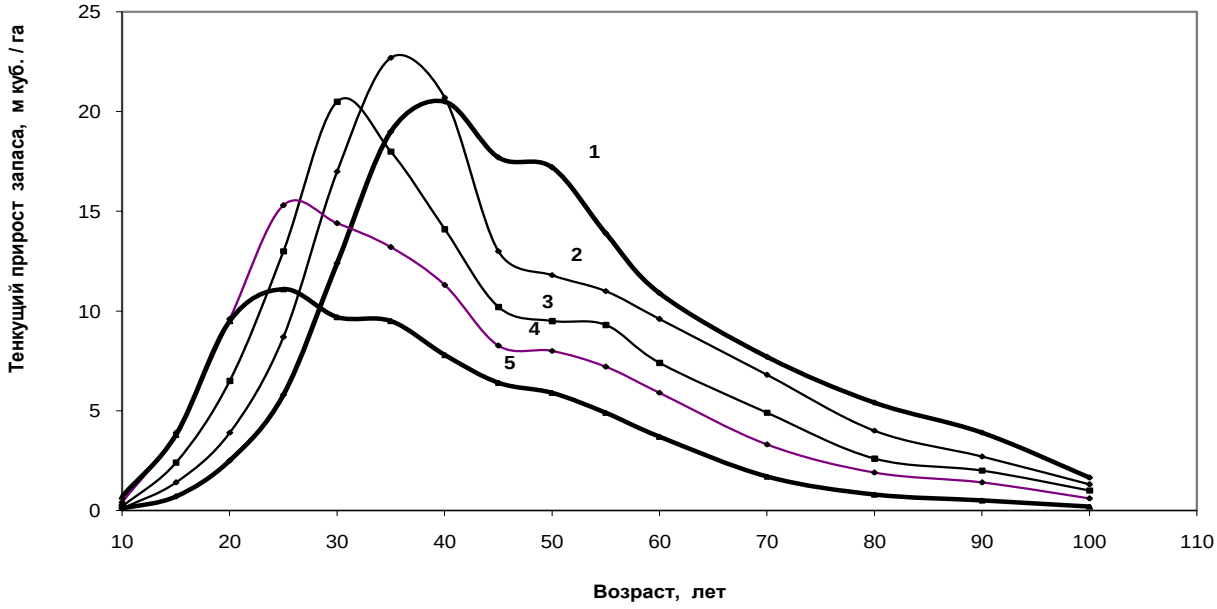


Рис. 7.1. Текущий прирост по запасу в моделях еловых древостоев в типах условий местопроизрастания C_2-C_3 с начальной густотой: **1** – 1.0; **2** – 1.65; **3** – 2.9; **4** – 5.1; **5** – 14 тыс. шт./га (по Рогозин, Разин, 2012, с. 191).

Из моделей Г.С. Разина для еловых древостоев следует, что если оценивать их развитие по приросту, то древостой лишь один раз достигает его максимума. Этот максимум подвижен: в редких ельниках он наступает в 30–40 лет, а в изначально густых уже в 20 лет. В этих возрастах наступает и максимум сомкнутости полога, после чего сомкнутость снижается тем сильнее (и даже разрушительнее), чем больше была начальная густота. Именно так проявляет себя закон морфогенеза Г.С. Разина. Падение прироста после 40 лет в ельниках было известно таксаторам давно, но совершенно не было известно о том, что его пик определяется начальной густотой.

Модели развития древостоев имеют свои, только им присущие частоты деревьев по классам Крафта. Они отражает адаптацию ценоза для *своей* модели и формирование их частот завершается на пике прироста. Деревья, безусловно, имеют инерцию развития, в том числе и по классам Крафта, т.е. по размерам крон. И если ранги по ним определились, то изменить их, а тем более «переместить» развитие всей модели на более производительную линию в момент кульминации прироста разреживаниями уже невозможно, так как меняется лишь одно условие – увеличивается только площадь питания, но не ценотический статус дерева. Пик прироста наиболее критичен и деревья, сохраняя численность, адаптируются к нему формированием малообъемных крон с потерей части фотосинезирующего аппарата. Теряют его деревья всех рангов, поэтому «фаза чащи» уже неэффективна для изменения линий прироста (линий развития древостоя).

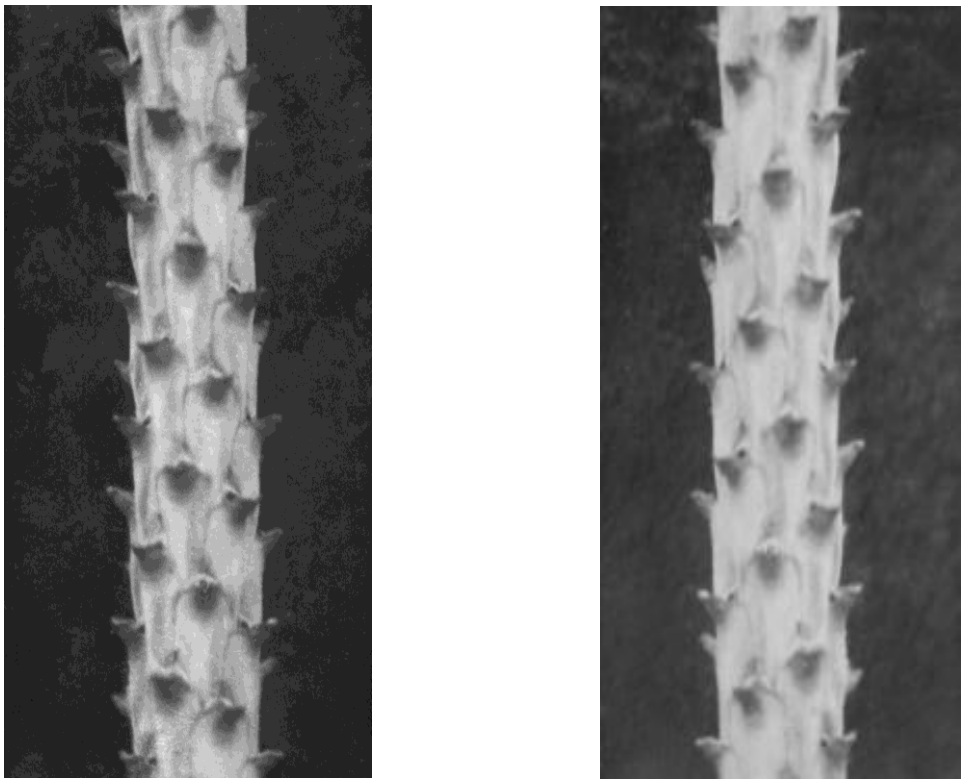
По-видимому, именно в этот период на опытных участках С.Н. Сеннова и были проведены рубки ухода, в результате наблюдения за которыми после 60 лет был получен кажущийся парадоксальным вывод о невозможности повышения производительности древостоев в среднем возрасте регулированием их густоты (Сеннов, 1984, 1999). Однако заключение это совершенно не согласуется с практикой плантационного выращивания леса, где регулирование густоты начинается в 9–13 лет, и это достоверно увеличивает прирост (Плантационное..., 2007; Большакова, 2007).

Из описанных выше опытов выращивания леса и моделей его развития следует важнейшее практическое правило: рубки ухода должны быть завершены *до кульминации* текущего прироста. Для ели это возраст 25 лет в густых (начальная густота 5.1 тыс. шт./га и более) и 30–35 лет – в редких моделях (начальная густота менее 2.9 тыс. шт./га). В соответствии с этим правилом современные виды рубок ухода за лесом «прореживания» и «проходные рубки», проводимые в 40–80 лет и даже старше с интенсивностью 20–30% [Правила..., 2017] оказывают на структуру насаждений крайне разрушительное действие. Они должны быть либо запрещены, либо их интенсивность должна быть снижена до 10–15% со снижением ширины волоков до 3.0 м. В целом эти виды рубок имеют в своей основе несуществующие «фантомы» теорий рубок ухода, о которых мы говорили выше, и которые до сих пор не прошли верификации.

7.2. Выдвигаемые законы

7.2.1. Закон гомеостаза частот деревьев правых и левых форм А. М. Голикова

Популяции у хвойных видов представляют собой систему с внутренней подразделенностью на левые и правые популяции-изомеры. Они имеют доказанные генетические отличия (Голиков, 2011; Голиков, Бурый, 2008; Голиков, Жигунов, 2012) и противоположную адаптацию: левые формы предпочитают прямой свет и слабую конкуренцию, а правые – рассеянный и толерантны к конкуренции. Кроме того, левые формы достоверно лучше растут в сухих условиях, а правые – во влажных. Ниже показаны побеги сосны с разной закруткой мест крепления хвои – левая и правая формы (рис. 7.2).



L D

Рис. 7.2. Побеги сосны: левая (L) и правая (D) формы
(по Голикову, Жигунову, 2012)

В оптимальных условиях рост и частота этих форм одинаковы, но если древостой становится густым, то начинают доминировать правые, а если он более редкий – левые формы. Особенно важно здесь то, что они начинают доминировать практически всегда, когда густота соответствует их

предпочтениям, причем даже в несвойственных для них по влажности условиях. Т.е. в редких культурах и во влажных условиях вполне могут лучше расти левые формы, хотя это и не их условия по влажности. В то же время в густых посадках и в сухих условиях могут доминировать правые формы, которые совсем не любят сухости, но хорошо переносят густоту. Это явление раскрывает механизм гомеостаза популяции, и конкуренция влияет на него намного сильнее, чем влажность или сухость почвы. Следует особо отметить, что встречаемость особей правых и левых форм в популяциях хвойных, начиная от сеянцев и кончая старыми насаждениями, находится строго в пределах соотношения 0.38:0.62 (Голиков, 2014).

Это соответствует частотам «Золотого сечения», в котором проявляют себя универсальные законы Вселенной (Шевелев, 2000; Назаров, 2012; Чернов, 2014). Это соотношение объясняет в полной мере, почему частоты этих форм никогда не снижаются до близких к нулю значений, и если Золотое сечение обнаружено в какой-либо ценопопуляции, то она будет безупречна, как хорошо отлаженный организм.

В одном из специальных опытов. А.М. Голиковым были исследованы 28-летние культуры в эдатопе С2 (ель) и С3 (сосна), с резко отличающейся густотой посадки 1.0 и 4.0 тыс. шт. /га. В густых посадках правые формы превосходили левые по объему ствола на 33%. В редких же наоборот, левые формы превышали правые на 10–23%. Нужно заметить, что условия С3 для левых форм подходят мало, но они почему-то в редких посадках все равно там росли лучше. Из этого следует важный вывод: в культурах с малой густотой левые формы будут продуктивнее правых даже в более влажных условиях С3, для них не свойственных. Это явление следует отнести к стратегии так называемого гомеостаза – сохранения системой устойчивого состояния при изменении условий: если конкуренция слабая и есть обилие света, то левые формы выходят в лидеры даже в нетипичных для них более влажных условиях, тогда как правые растут лучше при высокой конкуренции, при этом условия могут быть и сухие, для них совершенно не типичные.

На этих же участках было изучено 185 моделей. По их росту у правых форм D и левых L выделили 4 типа развития: быстрое (L+, D+); медленное (L– , D–); ускоренное (L –+, D –+) и замедленное (L+–, D+–). Оказалось, что в редких культурах большую часть древесины дают левые (59.5%), а в густых – правые формы (65.2%). Примечательно явное доминирование запасов у стабильно растущих быстро левых (L+) и правых (D+) форм, формирующих

особенно крупные стволы; именно они – центры накопления запаса, и именно на них должны быть направлены усилия лесоводов (рис. 7.3).

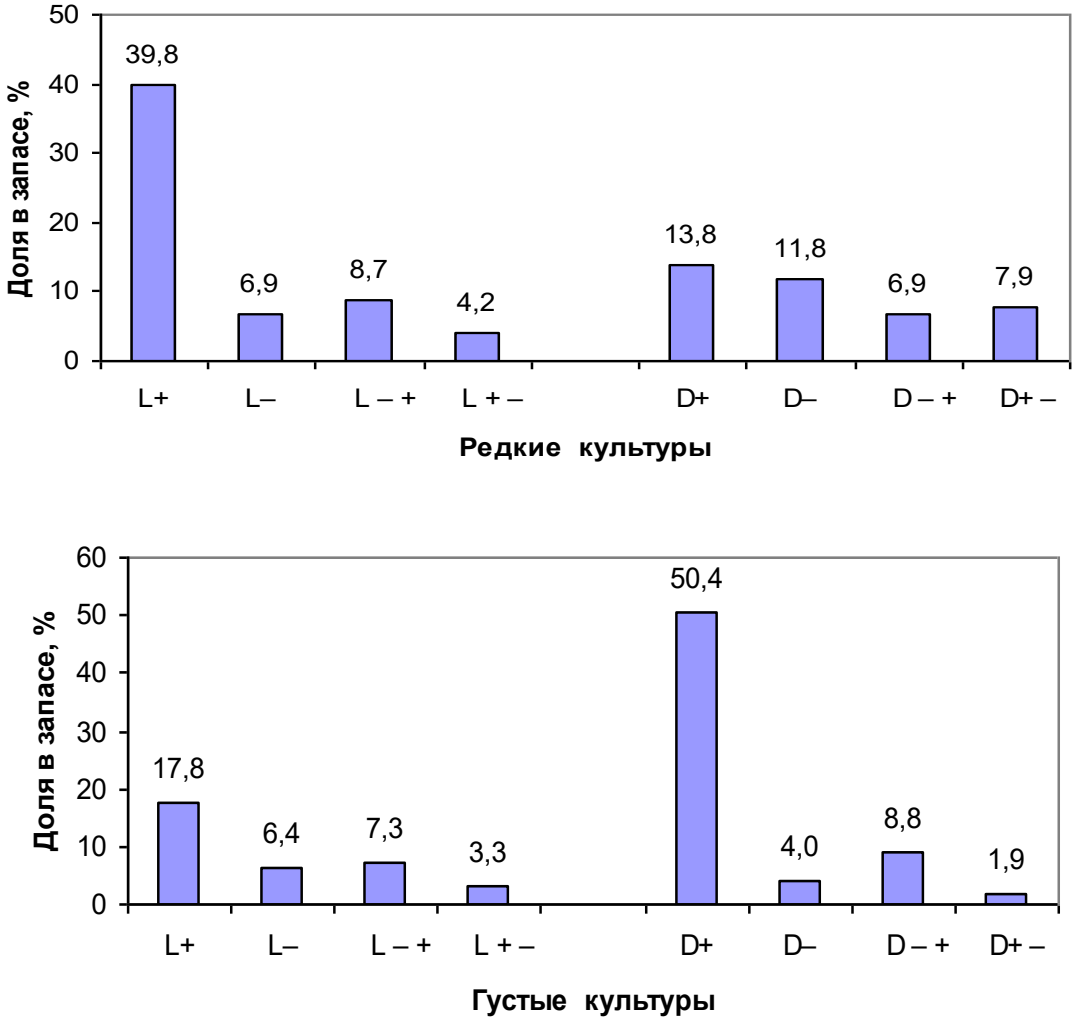


Рис. 7.3. Доли в запасах у правых и левых форм с разным типом развития в редких и в густых культурах

У левых и правых форм сосны А.М. Голиковым была изучена также их генетическая структура – в брусничном и черничном типах леса в культурах, заложенных по схеме 0.6×1.5 м и выращенных без рубок ухода. При исследовании в 65 лет в черничнике сохранилось 870, а в брусничнике – 550 деревьев на 1 га. После ДНК-анализа оказалось, что популяции имели одинаковый уровень наблюдаемой гетерозиготности (H^0), но анализ изопопуляций, т.е. правых и левых форм показал, что между H^0 у правых форм с их ростом в черничнике связь была отрицательная (r = –0.32), а у левых положительная (r = 0.34). В брусничнике связи были противоположными. Далее оказалось, что деревья–лидеры правых форм в желательных для них

условиях черничника имели низкую гетерозиготность (H^0 = 0.172±0.016), а в менее комфортном брусничнике более высокую (H^0 = 0.230±0.011). Подобная закономерность обнаружена и для левых форм.

Таким образом, деревья-лидеры этих форм в желательных условиях имеют низкую гетерозиготность, а в нежелательных повышают ее до максимума.

Обнаруженные генетические различия важны принципиально – они объясняют универсальный характер реакций генома на изменение ценотических условий. Отметим еще раз, что различия в увлажнении этих эдатопов, между которыми как раз и проходит *линия разделения* предпочтений для правых и левых форм, не помешала первым преобладать в несвойственных для них более сухих условиях. Видимо, для популяции толерантность правых форм к конкуренции важнее на порядок, чем снижение их роста.

В связи с выясненными особенностями гомеостаза сосновых популяций, где частота правых и левых форм имеет решающее значение, показательны результаты изучения более 1.0 тыс. выделов сосны в Среднем Поволжье (Романов, Нуреева, Еремин, 2013). Столь обширное исследование показало, что в условиях А2, В2, С2 нормированные запасы в культурах были выше естественных сосняков на 12–17%, а фактические различия составили 8–49%. Однако в сухих условиях А1 различия исчезали, а нормированный запас культур оказывался ниже на 4.5% запасов в естественных сосняках. Данный факт совершенно непонятен с точки зрения традиционного лесоводства, но хорошо объясним с позиций изменения частот левых и правых форм деревьев.

Так как эти формы адаптивно неравноценны, то на сухих почвах чаще встречаются и лучше растут левые, а на влажных почвах правые формы. Но высокая густота культур сосны благоприятствует только правым формам. Поэтому они превосходят левые по встречаемости, хотя условия сухости для них не благоприятны, и они сильно теряют в продуктивности, в особенности на самых сухих почвах в условиях А1, что и наблюдалось выше как снижение нормированного запаса культур на 4.5%.

Эти знания, вместе с законами морфогенеза древостоев, позволяют объединить их в *теорию выращивания сосны обыкновенной на сухих почвах*, которая была опубликована в нашей совместной статье [Рогозин, Голиков, Разин, 2014]. Теория эта имеет следующие положения.

1. При использовании семян, заготовленных в сухих типах леса, в их потомстве мы получаем больше левых форм (на 10–24%). К 8–10 годам в

культурах именно из них формируются деревья-лидеры. В это время кроны смыкаются, что вызывает депрессию их роста и выход в лидеры уже правых форм, толерантных к конкуренции. Если ценоз в этом возрасте разредить и держать деревья в условиях более свободного стояния, то левые формы сохранят своих лидеров и ход роста культур будет самым продуктивным.

2. Если разреживания культур в сухих условиях сделать позже, например, в 20–40 лет, ожидая смыкания крон и «дифференциации» деревьев, как это принято в лесоводстве, то это приведет к доминированию уже правых форм, лидирующих по росту в условиях высокой плотности, но растущих в сухих условиях хуже левых. Левые формы после этого останутся в меньшинстве, и древостой понизит продуктивность.

3. При использовании семян, заготовленных в свежих типах леса (сосняки и ельники кисличниковые, липняковые), можно рассчитывать на получение в потомстве примерно равного соотношения правых и левых форм. Но если древостои будут густыми, то доля правых форм увеличиться.

4. В лесном семеноводстве необходимо ввести следующее простое правило: семена заготавливают точно в тех же условиях, в каких планируют выращивать лесные культуры, с *буквальным* совпадением типа условий и совпадением начальной густоты развития древостоя в 10 лет.

5. В селекции для плантационного выращивания следует настоятельно рекомендовать отбор плюсовых деревьев в насаждениях, близких по возрасту (50 лет) и по густоте (500–700 шт. /га) к плантационным культурам, с полным (буквальным) совпадением типа условий местопроизрастания.

Обобщение экспериментальных фактов, имеющихся в работах А. М. Голикова, позволяют сформулировать ***Закон гомеостаза частот деревьев правых и левых форм,*** по которому их частоты стремятся к соотношению 50:50, либо 62:38 и других соотношений нет, т. е. колебания их частот происходят строго в пределах «Золотого сечения».

В зависимости от густоты древостоя на разных этапах его развития, а также влажности условий в лидеры выходят в основном деревья правых или левых форм, причем уровень наблюдаемой гетерозиготности у них достоверно различен, что позволяет популяции многовариантно реагировать на изменение условий внутри фитоценоза, сохраняя высокую численность и жизнеспособность.

7.2.2. Закон неравномерного размещения деревьев

Впервые о неравномерности и групповой структуре древостоев из российских ученых упоминали И.В. Логвинов [1955] и Н.Д. Лесков [1956]. В лесной даче Тимирязевской сельхозакадемии в спелых насаждениях группы деревьев, окна и прогалины встречались независимо от того, возникали древостои естественно или создавались культурами [Нестеров, 1961].

Изучение пространственного размещения деревьев сосны, ели и березы в синузиях подроста, в молодняках, средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях с анализом частот наименьших расстояний между деревьями показало [Ипатов, Тархова, 1975], что групповое размещение деревьев есть везде, и деревья сосны с расстоянием между ними 65–204 см встречаются в 28–50% случаев, а у ели на расстоянии 50–122 см растет 44–48% деревьев.

Исследования в этом направлении показали, что групповая структура свойственна всем насаждениям сосны обыкновенной, где деревья чаще всего располагаются неравномерно [Зайченко, 1973; Чудный, 1976; Лебков, 1992; Грибанов, 1993], а также ели тянь-шаньской, где в пространственной структуре насаждений биогруппы выступают как организующие центры [Проскуряков, 1981]. В Сибири некоторые авторы [Бузыкин и др., 1983] подметили стремление структуры насаждений с возрастом становиться все более случайной. Т.е. неравномерность их усиливалась, но какого-либо четкого критерия для этой случайности последние авторы не приводят. В насаждениях Северо-Запада России деревья-лидеры с раннего возраста размещаются нерегулярно как в культурах, так и в естественных лесах и сохраняют эту неравномерность до возраста спелости [Маслаков, 1999; Мартынов, 2010].

Перечисленные работы, рассматривают биогруппы как природное явление и показывают, что на деревья действуют некие факторы, значимо влияющие на их размещение. Биогруппой считают скопление деревьев (два и более) и в раннем возрасте к ним относят деревья-лидеры или, в другой трактовке, деревья будущего. Критерием биогруппы принимали расстояние между деревьями примерно до 2.5 м, так как в спелых древостоях 1–2 класса бонитета среднее расстояние между деревьями, рассчитанное из таблиц хода роста, составляет примерно 4–5 м и расстояние менее 2.5 м можно считать скоплением деревьев, а 8 м и более – окнами в пологе древостоя.

Изучение чрезвычайно густых искусственных биогрупп сосны, созданных посадкой 144 и 50 сеянцев на площадках размером 1.0×1.0 м в Опытном лесничестве Брянского технологического института показало, что

площадки, которые вначале прижились, спустя 38–47 лет оказались либо пустыми, либо без деревьев-лидеров в 32% (!) случаев [Марченко, 1995, с. 109]. Этот экспериментальный факт весьма интересен, и Брянские лесоводы давно изучали биогруппы в насаждениях. Так, в структуре 160-летнего сосняка лещинового состава 7С3Е обнаружено, что 37–39% деревьев в нем размещались биогруппами [Марченко и др., 1983]. В культурах сосны 13– 48-летнего возраста 48% лучших деревьев располагались на расстоянии до 2.5 м [Марченко, Брайко, 1985]. В других 35-летних культурах 57% лучших деревьев росли в биогруппах, при этом различия в диаметрах одиночных деревьев и деревьев в биогруппах оказались несущественны [Марченко и др., 1983].

Длительные исследования в этом направлении позволили С.И. Марченко прийти к заключению, что случайное размещение деревьев на самом деле не случайно и обусловлено энергетическими взаимодействиями в системе Земля-растение, и образование прогалин и скоплений деревьев вызвано наличием дискомфортных и благоприятных зон. Это привело Брянских исследователей к выводу, что необходимо изменить *всю систему* лесоводства, основанную на принципе равномерного размещения деревьев и на том, что древостой представляет собой совокупность растений, организованных борьбой за существование, в свете которых в основном и рассматривалась их структура в 20 веке [Третьяков, 1927; Сукачев, 1953; Мелехов, 1980; Маслаков, 1981; Сеннов, 1984]. Предложено отказаться от этой системы и заложить в основу лесоводства принцип группового размещения деревьев по так называемым «биоактивным зонам»; в БГИТА разработан даже специальный учебный курс «Нетрадиционное лесоводство» [Марченко И., Марченко С., 1998].

Становиться очевидным, что биогруппы для лесного насаждения – это его неотьемлемая часть и атрибутивное свойство. Однако по канонам лесоводства их необходимо разреживать. Эта рекомендация, похожая на требование, появилась из тезиса, который казался бесспорным, что деревья конкурируют между собой за элементы питания и чем деревья ближе, тем конкуренция сильнее; поэтому для ее снижения деревья надо «отдалить» друг от друга. И тезис этот вроде бы подтверждают лесные культуры; однако со временем и в них образуются неравномерности структуры, и они сохраняются до спелого возраста [Нестеров, 1961; Маслаков, 1999; Шутов и др., 2001].

Значит, в теории рубок ухода с ее стремлением к созданию равномерной структуры насаждений оказалось что-то не так, и нужно было с пристрастием их проверить. В этой связи оказались примечательны рубки ухода за «деревьями будущего». Рубки эти предложил немецкий лесовод Вагнер в

1930-е годы и на него ссылается С. Н. Сеннов [2005], когда их провели в лесах Ленинградской области. В этих рубках в 40-летних сосняках удалили 70% (!) деревьев, мешающих «деревьям будущего», и оставили на пробной площади равномерно размещенные 112 деревьев (650 шт./га) с диаметрами 8–20 см. Автор характеризует древостой таким распределением деревьев по диаметру: 20 см – 10%, 16 см – 30%, 12 см – 52% и 8 см – 8%, из чего можно заключить, что оставляли деревья 1–4 классов Крафта, равномерно оставляя их по площади, т.е. биогруппы разреживали обязательно [Сеннов, 2005, с. 193].

Спустя 60 лет были подведены итоги, и они оказались просто поразительны. При сравнении деревьев с начальными диаметрами 16 и 12 см, частота которых была наибольшей, прирост по диаметру у них достоверно не отличался от контроля, где рубки не проводили. Такой же результат автор обнаружил у ели в смешанном древостое, где ее рост практически не зависел от расстояний до ближних деревьев березы, при статистически недостоверной силе влияния этого расстояния, равной всего лишь 8% [Сеннов, 2005, с. 194].

На основании этих данных С.Н. Сеннов делает вывод о том, что развитие дерева слабо зависит от размеров соседей и от расстояния до них. Но самым поразительным результатом освобождения от соседей для «деревьев будущего» оказалась их собственная гибель – по точно тем же причинам и с такой же интенсивностью, что и на контроле, где густота оставалась в 3-4 раза больше. Однако этот странный результат автор объясняет влиянием «корневой конкуренции» и «микроусловиями», оставляя читателя в недоумении о реальной силе их влияния. При этом точно такие же неудачи с «деревьями будущего» наблюдались в Германии [Сеннов, 2005, с. 34-39, с. 194].

Заметим, что в слое до 20–25 см объем почвы, который осваивают корни взрослых деревьев сосны, составляет примерно 5% от возможного [Орлов, Кошельков, 1977]. Из этого следует, что 95% объема почвы между деревьями могут свободно занимать соседи, и «корневая конкуренция» без ее количественного определения остается не более чем предположением.

Почему же деревья, получившие после рубок ухода *в разы* большую площадь питания, не ответили на это повышением прироста? Почему они «не послушались» лесовода? На наш взгляд, причинами явились свойства древостоя как целого: во-первых, наличие определенного типа (модели) развития фитоценоза – с фазами прогресса и регресса в соответствии с законом Г.С. Разина; во-вторых, воздействие на древостой в возрасте 40 лет на пике его прироста, либо в фазе регресса; в третьих разрушение биогрупп.

О биогруппах С.Н. Сеннов пишет следующее: «...групповое размещение деревьев в ельниках в 40–45 лет, отмеченные на старых схемах пробных площадей, сохранились и спустя 60 лет» [Сеннов, 2005, с. 39], при этом деревья, оставшиеся в одиночестве после разреживания биогрупп, не увеличили свой прирост по сравнению с контрольными деревьями с такими же начальными диаметрами [Сеннов, 1999].

Тем не менее, как в 1980-е годы, так и ныне действующие Правила ухода за лесами [Правила..., 2017] как бы «не заметили», что идея оптимизации густоты *в любом возрасте* по-прежнему остается гипотезой о том, что это *может приводить* к увеличению прироста всего древостоя. И гипотеза эта не доказана до сих пор! (Мы не берем в расчет работы, где доказательства этой идеи были скромно ограничены приростами по диаметру, где не было эскизов таблиц хода роста или сравнения запасов в опыте и контроле примерно так, как это было сделано только С. Н. Сенновым).

В последнее время появились новые методы картирования деревьев с помощью радиотомографии [Доржиев и др., 2016], а также концепция «gap-динамики» (динамики лесных прогалин), которая претендует даже на основную теорию, описывающую естественное развитие ненарушенных лесов [Кислов и др., 2015]. Их модели включают уже до 20 параметров [Грабарник, 2010; Колобов, 2012, 2014]. Но чем сложнее модель, тем труднее ее применение. Заметим, что сложные биогеофизические модели древостоев предлагались еще в середине 20 века [Хильми, 1955, 1957].

На наш взгляд, увлечение «физическими» моделями структуры уводит наши усилия далеко в сторону, и поэтому никак не удается найти глубинные причины образования неравномерностей в расположении деревьев. В них почему-то всегда на первое место ставят конкуренцию за свет и за минеральные ресурсы, причем расстояния между деревьями выступают в большинстве моделей основным параметром. Однако кроме этих факторов действуют и другие. К ним можно отнести частоту правых и левых форм [Голиков, 2011], малые геоактивные зоны [Рогозин, 2015], кооперацию корневых систем [Колтунова, 2013; Демаков, 2018], деление экологической ниши между соседствующими деревьями в насаждении [Горячев, 1999; Рогозин, 2019]. И сила влияния этих факторов (из-за их игнорирования) пока не изучена.

Возвращаясь к нашим данным по густоте, сошлемся на мозаичный рисунок из клеток 10×10 м (см. рис. 3.15). Но иллюстрировать их густоту можно и в виде диаграммы (рис. 7.4).

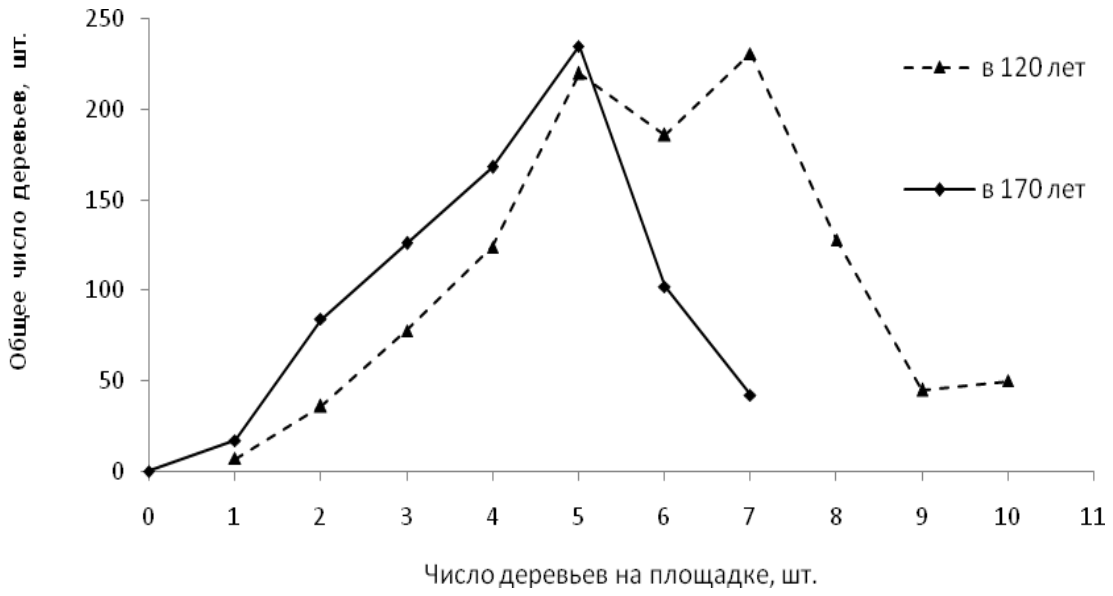


Рис. 7.4. Неравномерность густоты деревьев на площадках 10×10 м.

Встречаемость числа деревьев на площадках 10×10 м приближаются к частотам нормального распределения, и в крайних классах их густота различается в 7–10 раз. Из частот этого ряда следует, что можно говорить о наиболее часто встречающейся густоте этих площадок, но никак не о регулярном размещении деревьев, которое возможно лишь гипотетически.

Проведенный краткий анализ показывает, что исследователи пока никак *не могут найти причины* и определить *силу их влияния* на формирование неравномерностей в структуре древостоев, считая априорно «главной силой» световую конкуренцию. Но если она – главная, то деревья-лидеры с возрастом тотально подавили бы всех своих соседей и остались бы по одиночке. Но этого не происходит. Значит, световой фактор важен, но главный все-таки не он, и действует целый комплекс других, пока мало изученных факторов. Поэтому остается просто признать за древостоем *право оставаться* неравномерным.

Таким образом, результаты исследований множества авторов, а также результаты наших исследований свидетельствуют о том, что в лесных насаждениях всегда имеет место неравномерное (случайное и групповое) размещение древесных растений. При этом в биогруппах встречается до половины деревьев, а задаваемое искусственно равномерное размещение деревьев со временем все равно превращается в неравномерное.

Поэтому есть все основания ввести «***Закон неравномерного размещения деревьев в древостоях***: во взрослых древостоях деревья всегда размещаются неравномерно, несмотря на то, что их могли высаживать равномерно в культуры или стремились к этому рубками».

7.2.3. Закон партнерства деревьев в микроценозах

Впервые о резком снижении внутривидовой конкуренции у деревьев в молодняках у соседствующих деревьев упоминалось в 1976 г. Явление это было установлено в опытных культурах ели, заложенных с целью разработки таблиц хода роста в зависимости от начальной густоты. В них обнаружилось заблаговременное, за 2–3 года до смыкания крон, снижение в 2 раза прироста у боковых ветвей, начавшееся при расстоянии между кронами в 0.4 м; затем, после прорастания крон друг в друга, прирост плавно увеличивался в 1.6 раза относительно достигнутого минимума. Причины таких колебаний прироста боковых ветвей авторы объяснили «сменой внутривидовой конкуренции на взаимную толерантность» (Кайрюкштис, Юодвалькис 1976].

Для понимании механизма образования биогрупп как особых структур в фитоценозах были введены концепции «фитогенного поля» А.А. Уранова [1965], «ценогенного поля» А.Е. Катенина [Почвы…, 1972], а также «эффект группы» Ю.В. Титова [1978] с настройкой активности процессов обмена у отдельных растений на режим его колебаний в своей группе.

Совершенно иная настройка роста была обнаружена в девственных 180-летних древостоях ели и пихты на Среднем Урале. Здесь деревья с близким типом динамики сезонного прироста по диаметру росли на дальних расстояниях друг от друга, а деревья с разной его динамикой в течение сезона, с различиями в пиках прироста в 1–2 недели, образовывали биогруппы из нескольких деревьев, существующие много десятилетий [Горячев, 1999].

В последнем явлении, по всей видимости, имеет место взаимная настройка деревьев эпигенетическими регуляторами, а также отбор в эти группы правых форм деревьев, толерантных к конкуренции [Рогозин, Голиков, Разин, 2014]. Биогруппы в лесу встречаются довольно часто, и в них растет 28–57% всех деревьев насаждения [Ипатов, Тархова, 1975; Марченко, 1995].

При изучении нашего 184-летнего древостоя рассчитанное по общей густоте среднее расстояние между деревьями составило 547 см. Расстояние в ½ от него и равное 270 см было принято в качестве критерия выделения биогрупп. В них, при расстоянии между деревьями 82–270 см, оказались растущими 40.4% деревьев сосны. Средние диаметры деревьев в них и в насаждении отличались недостоверно и не более чем на 1.0% [Рогозин, 2018-*в*] (рис. 7.5).

Рис.7.5. Даже в старых лесах деревья успешно растут в биогруппах.
Это явление – своеобразный атрибут древостоя

Кроме того, в этом же насаждении в микроценозах размером 0.01 га, выделенных «механическим» способом на площади 2.16 га, их густота в возрасте 120–184 года повлияла на средний диаметр сосны с силой всего лишь 8.8–11.2%. При таком слабом влиянии густоты конкуренция в микроценозах перестает быть «главным» биотическим фактором, влияющим на рост деревьев.

Помимо биогрупп, в этом насаждении изучалось взаимное влияние соседствующих деревьев на расстояниях от 84 до 790 см. Оказалось, что деревья-соседи коррелируют диаметрами: крупное влияет на малое и при расстояниях 84–450 см корреляция была равна $r = 0.52 \pm 0.04$, а на расстояниях 451–790 см ее значение снижалось до $r = 0.27 \pm 0.10$. Это указывает на партнерство деревьев, в отличие от конкуренции, которая должна была бы приводить, наоборот, к снижению корреляций диаметров на близких расстояниях. В случайных же парах деревьев корреляции оказались недостоверны. При этом сила взаимовлияния диаметров деревьев-соседей,

равная 27.8%, оказалась выше на порядок, чем влияние расстояния между ними на их диаметры (2.2–2.8%).

Таким образом, соседствующие деревья взаимодействуют с пользой друг для друга и приобретают эффект партнерства, или эффект группы Олли [Allee, 1931; Титов, 1978], что и приводит к согласованному увеличению или уменьшению их диаметров и их корреляции. По своей мощности эффект партнерства в 10 раз (!) сильнее конкуренции за свет и корневой конкуренции, которые оценивали здесь через фактор расстояния между деревьями.

Чтобы понять механизм партнерства, далее использовали в анализе биогруппы только из двух деревьев и отношение в них диаметра большего дерева к меньшему (Дmax / Дmin). Выдвинули гипотезу, что если отношение будет больше в биогруппах, то и конкуренция в них будет сильнее. Для контроля использовали такое же число пар, образованных одним, а затем вторым деревом биогруппы с соседним ближним деревом. Указанные отношения оказались одинаковыми и равными 1.27. Средние диаметры также были равны (39.0 и 39.2 см), несмотря на громадные различия в средних расстояниях между деревьями – 195 см в биогруппах и 525 см в контрольных парах. Получается, что при усилении взаимодействия во много раз деревья никак не реагировали на это усиление, что свидетельствует не о конкуренции, а о партнерстве деревьев-соседей.

Если же деревья рассматривать в концепции экологической ниши и считать их организмами, потребляющими ресурсы в разное время [Горячев, 1999], то полученные выше отношения Дmax/Дmin совпадают с «постоянной Хатчинсона», равной 1.3. Она была введена для понимания того, что при таком ее значении конкуренция между симпатрическими видами минимальна, так как они, после изучения характера их питания, занимали разные экологические ниши [по Розенберг, 2007].

Однако если далее взять не просто диаметры, а площади сечений деревьев и рассчитать отношение площади сечения большего дерева к малому, то у соседствующих деревьев средние значения этих отношений получились в пределах от 1.613 до 1.675, статистически не отличающихся от «Золотого сечения», равного 1.618. В случайных же парах деревьев искомое отношение было достоверно больше на 9.5% при $t_{факт} = 3.52 > t_{0.01} = 2.63$. Т.е.

разнородность диаметров у деревьев-соседей ограничена статистической константой, равной Золотому сечению, которое действует как глобальный механизм устройства Вселенной и проявляет себя во всех формах живой природы [Шевелев, 2000; Назаров, 2012; Чернов, 2013]. Поэтому можно полагать, что если оно обнаружено в древостое, то он гармоничен по своей структуре и отношения партнерства деревьев в нем будут определять его гомеостаз и долговечность.

Таким образом, есть все основания ввести ***Закон партнерства деревьев в микроценозах*** – «растущие в микроценозах деревья-соседи коррелируют своими размерами, не мешают друг другу в росте и не отличаются по размерам от деревьев, более свободно растущих в пределах древостоя».

7.3. Новая парадигма лесоведения и лесоводства

В каждой науке всегда существует так называемая парадигма (от греч. paradeigma пример, образец) – это совокупность научных достижений, признаваемых всем научным сообществом и служащих основой и образцом для новых исследований. Это устоявшийся взгляд, который определяет теории, подходы и методы решения возникающих научных и практических задач.

В ***лесоводстве*** уже достаточно давно в его недрах развиваются отличные от него «плантационное», «пригородное», «хроно-лесоводство» и даже «нетрадиционное лесоводство», т.е. вполне в духе Т. Куна [Кун, 2009] в лесной науке начался кризис – появились противоборствующие научные школы и альтернативные теории. В худшем сценарии он усугубится и лесоведение, как теоретическую основу лесоводства, возможно, будут забывать и даже отменять как не оправдавшую надежд идеологию и как дисциплину. Как социализм и коммунизм, как «город солнца» Томмазо Кампанеллы, о котором И. В. Шутов писал в журнале «Лесное хозяйство», критикуя однополярность лесного сектора, как мечту отечественных лесозаготовителей [Шутов, 2013], и после статей которого, а также статей других авторов этот журнал закрыли как наиболее критический, и замены ему, как настольной книге лесничего, нет до сих пор. В этом худшем сценарии после преодоления кризиса останутся лишь правила и инструкции, а также учебники по управлению лесами в соответствии

с Лесным кодексом с разъяснениями на сотнях страниц, как этот кодекс выполнять. И *общего лесоводства* уже не будет. Возможно, и название этой дисциплины заменят, например, на «Управление арендными и другими отношениями в сфере использования лесов». И все это вполне возможно, если лесные науки будут дробиться и далее – без их синтеза и общего понимания того, как лес устроен и какие биологические законы в нем действуют.

В лесоведении зарождение новой парадигмы можно отнести, вероятно, в 1970-е годы, когда в моделировании роста древостоев в качестве нового фактора начали использовать их густоту [Разин, 1979]. При старом подходе учитывали условия местопроизрастания и типы леса, причем идентичность их роста проверяли по модельным деревьям и соотносили его со статичной шкалой классов бонитета. Именно по ним составлялось множество таблиц хода роста и они сыграли в XX веке выдающуюся роль в выяснении характеристик максимально продуктивных древостоев в разных регионах нашей страны.

Однако они не давали ответа на вопрос, *из каких* состояний формируются древостои с полнотой 1.0. В 2010-е годы на эту тему вновь развернулась дискуссия, и ряд вопросов не решен до сих пор [Рогозин, Разин, 2015].

Новая парадигма основана на пяти новых законах, ранее не упоминавшихся в учебниках:

- закона роста деревьев в молодняках Е.Л. Маслакова;
- закона развития одноярусных древостоев Г.С. Разина;
- закона гомеостаза частот деревьев правых и левых форм А.М. Голикова;
- закона неравномерного размещения деревьев;
- закона партнерства деревьев в микроценозах.

Все эти законы были рассмотрены в данной монографии.

Вытекающие из этих законов следствия позволяют сформулировать 20 новых положений – в их сравнении со старыми положениями, которые были закреплены в Правилах ухода за лесом [Правила…, 2007, 2017], а также описаны во множестве учебников по лесоведению, лесоводству и лесной таксации. При этом ряд положений в старой парадигме был известен лишь в общих чертах (табл. 7.1).

Табл. 7.1. Основные положения парадигмы лесоводства о развитии простых одноярусных древостоев в оптимальных условиях

№	Старая парадигма	Новая парадигма
1	Естественное изреживание происходит своевременно и закономерно.	Естественное изреживание запаздывает, вследствие чего древостой теряет производительность.
2	Высота древостоев мало зависит от их густоты. Ход роста (развитие) древостоя зависит от класса бонитета и лесорастительных условий.	Высота древостоев зависит не только от условий, но и от начальной густоты. Изначально менее густые насаждения с возрастом становятся более высокими.
3	Класс бонитета у древостоя постоянен и с возрастом меняется незначительно.	Класс бонитета с возрастом меняется у большинства древостоев.
4	Дифференциация деревьев в древостое проявляется в полной мере в возрасте 30–40 лет.	Деревья-лидеры и деревья-аутсайдеры проявляют себя уже в возрасте 8–10 лет.
5	В структуре древостоя имеет место регулярное, случайное и групповое расположение деревьев. Биогруппы и прогалины образуются случайно.	Структура древостоя включает в себя биогруппы и в них растет 28–57% деревьев. Биогруппы, окна и прогалины – это атрибуты древостоя.
6	В биогруппах деревья конкурируют и мешают расти друг другу. Поэтому они подлежат разреживанию.	Деревья-лидеры и биогруппы растут на геоактивных зонах и являются центрами, где накапливается запас. Их оставляют при разреживаниях.
7	Уход за густотой следует начинать в жердняках, в возрасте 21–40 лет.	Уход за густотой следует начинать еще до смыкания крон и заканчивать до наступления максимума полноты.
8	Максимум массы хвои наблюдается в среднем и старшем возрасте при оптимальной густоте.	Есть константы для массы хвои и объема крон. В ельниках при их развитии от начальной густоты 1.0–1.6 тыс. шт./га константы достигаются в возрасте 45 лет.
9	Максимум текущего прироста древесины в ельниках в таежной зоне приходится в среднем на возраст 40–50 лет.	Максимум текущего прироста в ельниках наблюдается при их развитии от минимальной густоты, и он приходится на 40 лет, а в изначально густых – на 25 лет.
10	Тип *хода роста* древостоя определяет класс бонитета, географическое и ландшафтное положение, тип леса.	Тип *развития* древостоя определяет его начальная густота, а при ее регуляции развитие зависит от возраста достижения максимума сомкнутости крон и полога.

Продолжение табл. 7.1.

№	Старая парадигма	Новая парадигма
11	В развитии древостоя выделяют молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные насаждения.	Развитие древостоя делят на фазы прогресса и регресса, т.е. на периоды *до и после* максимума прироста. Сбег ствола в фазе регресса является константой.
12	Регуляцию густоты проводят вплоть до приспевающего возраста.	Активную регуляцию густоты проводят только в фазе прогресса, т.е. при высоких классах бонитета примерно до 40 лет.
13	Регрессом считается возраст, когда объем отпада становится больше текущего прироста.	Регресс определяется падением текущего прироста и начинается в среднем возрасте и даже в молодняках; в нем проводят пассивные рубки отставших в росте деревьев.
14	Адаптивные различия левых и правых форм деревьев известны с 1980 г. Их использование в теории и практике лесоводства пока не находит применения.	Левые формы предпочитают сухие условия и плохо переносят конкуренцию, а правые любят влажные почвы и конкуренцию переносят лучше. При этом густота влияет сильнее, и в период сомкнутости правые формы начинают преобладать даже на снижающих их рост сухих почвах. Поэтому регуляцию густоты следует начинать очень рано и в фазе прогресса.
15	Конкуренция между деревьями является одним из главных факторов внутри ценоза, влияющих на рост деревьев в любом возрасте и структурах.	Конкуренция деревьев-соседей определяется расстоянием между ними и густотой микроценоза, но эти факторы влияют на диаметры и отпад деревьев к спелому возрасту с силой лишь около 10%. При таком слабом влиянии конкуренция уже не является главным фактором, определяющим размер деревьев.
16	Взаимное влияние деревьев друг на друга имеет место, но численные характеристики его как фактора не установлены.	В парах деревьев-соседей диаметры крупных деревьев коррелируют с диаметрами малых при $r = 0.52 \pm 0.037$. Возникает эффект партнерства, или эффект группы Олли, что проявляется в согласованном увеличении или уменьшении их диаметров. По мощности эффект партнерства равен 27.8%, что в 10 раз сильнее, чем конкуренция за свет и корневая конкуренция, если их оценивать через фактор расстояния между деревьями, влияющий с силой 2.2–2.8%.

Окончание табл. 7.1.

№	Старая парадигма	Новая парадигма
17	Площадь питания дерева рассчитывают в полигоне с делением расстояний к соседям пропорционально их размерам. Она влияет на размер дерева на среднем уровне (примерно на 30%).	Площадь питания дерева рассчитывают как независимую переменную величину в полигоне с делением расстояний к соседям на 1/2. Такая *доставшаяся* деревьям площадь питания влияет на их размеры в спелом возрасте очень слабо (с силой 7.7%).
18	Концепция экологической ниши применительно к отдельным деревьям не рассматривалась.	В концепции экологической ниши деревья можно рассматривать как организмы, потребляющие ресурсы питания в разное время. Тогда одинаковый средний размер деревьев в биогруппах и в древостое, а также эффект партнерства и взаимная корреляция диаметров деревьев-соседей находят свое биологическое объяснение.
19.	В микроценозах сила влияния их густоты на интенсивность отпада в численном выражении не установлена.	В микроценозах сосны, сформированных как площадки 10×10 м, их густота в возрасте 120 лет влияет на отпад к 170 годам с силой всего лишь 4.7%. В остальных 95.3% случаев на отпад влияют другие факторы.
20	Критерием правильности проведенных мероприятий по уходу за древостоем является сохранение относительной полноты на уровне 0.5 – 0.6.	Критерием правильности ухода за лесом, предложено использовать биологическую константу, равную «Золотой пропорции» 1.618. Она присутствует в отношениях площадей сечений стволов у деревьев-соседей и указывает на древостой как на гармоничный и хорошо отлаженный целостный организм.

Новая парадигма меняет подходы и методы изучения не только простых, но и сложных древостоев и экосистем в целом, конструирование моделей их развития и методы составления различного рода таблиц хода роста, принципы селекции, лесного семеноводства, создания лесных культур, принципы управления лесными насаждениями, в частности, уход за лесом, и т.д.

7.4. Фантомы теорий рубок ухода и предложения производству

Если рассмотреть два используемых в лесоводстве постулата повышения продуктивности насаждений: а) площадь питания дерева должна быть оптимальной; и б) деревья должны размещаться равномерно, то они постепенно привели к формированию профессиональных убеждений о необходимости применения рубок разреживания, например таких, как прореживания и проходные рубки. Однако С.Н. Сеннов впервые доказал, что это не так, а далее теоретические основы этих рубок оказались вообще фантомами. Причина оказалась вначале в незнании, а далее в пренебрежении к действию двух законов: рангового закона роста деревьев Е.Л. Маслакова и основной закономерности морфогенеза древостоев Г.С. Разина. Последний закон выделяет восходящую линию (увеличение прироста, прогресс) и нисходящий тренд (падение прироста, регресс). Их наличие влечет за собой разные подходы к управлению древостоем: активное вмешательство в фазе прогресса и пассивное – в фазе регресса.

Об этом мы уже говорили в начале книги, но сейчас, на фоне новых знаний, мы получаем аргументы для выстраивания более адекватной теории строения и структуры простых древостоев, которые должны найти свое воплощение в правилах ухода за лесом.

Действующие ныне Правила ухода за лесами [Правила…, 2017] далеки от совершенства. Они представляют собой еще более грубый вариант Правил ухода за лесом 2007 г., которые не могли принять для использования целых 10 лет. По ним были принципиальные замечания [Чижов, Горшкова, Николаев, 2015; Рогозин, 2017], однако они не были учтены. Поэтому остановимся *на теоретическом обосновании* технологий проведения прореживаний и проходных рубок, описанных в упомянутых Правилах.

Каждый лесовод в своей работе придерживается и выстраивает определенную систему взглядов, или так называемых *идеологем,* которые имеют вполне определенный образ в виде неких абстрактных закономерностей. Идеологемы существуют и как целеполагания, освященные традицией, иногда очень давней [Эйтинген, 1934], бывают утверждены законодательно в виде набора правил [Правила…, 2007, 2017] и добросовестные лесоводы-практики, следуя им, искренне считают, что если их выполнять, то и с лесом все *должно быть* в порядке.

Первая из таких идеологем – это убежденность в том, что с достижением высокой полноты и сомкнутости древостои нуждаются в разреживаниях. Она зародилась на заре лесоводства, хотя долгое время сторонники закона естественного изреживания были убеждены, что состоящие из одной породы леса в них не нуждаются. Закон естественного изреживания настолько очевиден, что о нем даже не вспоминают, и при обосновании ухода за лесом сразу переходят к классификации деревьев. Наиболее популярна классификация Крафта, известная уже более 100 лет.

В Правилах ухода за лесом, утвержденных МПР РФ в 2007 г. и 2017 г. (далее «Правила...») применено простое разделение деревьев на три категории: I – лучшие, II – вспомогательные, III – нежелательные.

Далее в нормативах Правил все просто, и для чистых лесных насаждений с примесью других пород 20% дается некий универсальный рецепт: при полноте 0.8 и более, вплоть до приспевающего возраста, в них для регулирования густоты назначают рубки ухода в виде прочисток, прореживаний и проходных рубок. Затем оговаривается набор технических параметров разработки лесосеки, где разрешается занять под волока шириной 5.0 м до 15% площади лесосеки [Правила…, 2007]. Сейчас этот параметр смело увеличили до 20% (!) [Правила…, 2017] . При этом и в 1980-е годы, когда эти параметры были приняты впервые, и сейчас возникает вопрос о *биологическом* их обосновании. Нам они неизвестны. В самом деле, реализовать цели ухода за лесом (повышение продуктивности и увеличение размера главного пользования) можно только в том случае, если в результате ухода будет восполнена убыль 15% деревьев ранее и 20% деревьев сейчас, вырубаемых на технологических коридорах, и убыль еще 2% деревьев на погрузочных пунктах. Для этого у оставшихся 80% деревьев прирост должен быть повышен не менее чем на 25%. Однако таких целей в Правилах нет, значит, цели ухода остаются лишь декларацией, а их параметры основаны на чисто технических удобствах разработки лесосек.

Результаты проверки достижения целей такими рубками после 60 лет наблюдений представил пока только С.Н. Сеннов, причем еще 35 лет назад [Сеннов, 1984], и затем подтвердил их в своем учебнике [Сеннов, 2005]. Данные эти показали недостижимость заявленных целей, несмотря на то, что в опытных рубках площадь волоков была намного меньше.

Вернемся, однако, к общей площади волоков, которая не должна превышать 15–20% площади лесосеки. Получается, что для технологического

удобства можно (и даже следует) вырубить до 20% здоровых деревьев, т.е. каждое пятое (!!!) дерево. Это допустимый максимум и лесозаготовители его только приветствуют. Однако совершенно не приемлют лесоводы. В Правилах говорится о том, что выборка нежелательных деревьев в пасеках должна составлять не менее 5% запаса древесины. Т.е. получается, что для уборки 5% «плохих» деревьев нужны волока, на которых можно удалять ни в чем не повинные 20% деревьев, что в 4 раза больше, и этот лес совершенно здоровый! В итоге получаем вместе с погрузочными пунктами (2%) интенсивность рубки в 27% запаса. Как раз близкая величина (15–25% для ельников и до 20–30% для сосняков) и указана в нормативах прореживаний и проходных рубок для чистых насаждений. Поистине, это лакомый кусок для тех, кто разобрался в технологии таких «рубок ухода», и жаждет древесины, а не повышения продуктивности наших лесов.

Однако дело не только в площади волоков. Речь идет о наличии адекватной теории рубок ухода (теории прореживаний) в чистых насаждениях и ее проверке практикой. Теория эта имела почти незыблемые постулаты, в частности, оптимизацию площади питания деревьев (оптимизацию густоты) и стремление к более равномерному размещению деревьев, которые *должны были приводить* к увеличению их прироста и, следовательно, к увеличению продуктивности всего древостоя, причем в любом возрасте, вплоть до спелости. Эти постулаты казались настолько очевидными, что у лесоводов не возникало даже мысли проверить их истинность. Однако это оказалось не так, и постулаты не были верифицированы, о чем мы уже говорили в разных местах данной книги. Столь прибыльные прореживания и проходные рубки ныне стыдливо называют «коммерческими рубками ухода» [Алексеев, 2014].

Между тем, за истекшее столетие был установлен ряд новых законов и закономерностей в развитии древостоев, которые не нашли отражения в учебниках и в новых Правилах. Причины их игнорирования лежат в некоторой обособленности лесоводства от других лесных наук. Ко времени разработки Правил 2007 и 2017 г. были известны три закона, описывающие развитие лесных насаждений: *закон естественного изреживания*, впервые названный законом М.М. Орловым в 1920-е годы, и на котором основано деление деревьев на три категории при назначении деревьев в рубку, затем *ранговый закон роста деревьев Е.Л. Маслакова* [Маслаков, 1984] и *основная закономерность морфогенеза древостоев* Г.С. Разина [Разин, 1979], статус которой далее был повышен до ранга закона [Рогозин, Разин, 2015].

Первый закон общепризнан. Но поразительна судьба двух других. За истекшие 35 лет они так и не вошли в учебники и правила, и причины небрежения к ним глубоко символичны. Во-первых, даже крупные ученые часто не учитывают новые достижения в близких науках. Во-вторых, и это главное, новые законы буквально выбивают почву из-под ног у адептов «коммерческих» рубок ухода, лишая их упомянутого постулата о том, что увеличение площади питания дерева *должно приводить* к увеличению его прироста *в любом* возрасте.

Так, из общего закона развития одноярусных древостоев Г.С. Разина следует, что древостой лишь один раз достигает максимума текущего прироста. У древостоя, как у целого, есть свойства, которых нет у его частей-деревьев. Это биомасса листьев, суммарный объем крон, их сомкнутость и, как результат их работы, прирост древесины. Поэтому если оценивать *развитие* насаждения, то в нем выделяется восходящая линия (увеличение прироста, прогресс) и нисходящий тренд (падение прироста, регресс). Наличие фазы прогресса и регресса влечет за собой совершенно разные подходы к *управлению* древостоем: активное вмешательство в фазе прогресса и пассивное – в фазе регресса. Отсюда неизбежно возникают и новые принципы для рубок ухода: их высокая интенсивность в молодняках и низкая, с уборкой только отставших в росте деревьев в среднем и приспевающем возрасте [Рогозин, 2016]. На заре лесоводства эти принципы выполняли интуитивно и в древостоях вырубали большей частью тонкомер, однако Правила ухода за лесом никак не выделяют эти фазы – там вообще нет понятий прогресса и регресса, и уход назначают при полноте 0.8 *в любом возрасте*, вплоть до приспевающего. Этот универсальный рецепт приводит к тому, что прокладка технологических коридоров нарушает ветровую устойчивость ценоза и спустя какое-то время, иногда уже через 5–10 лет, он вырубается санитарными рубками целиком. Поэтому и проверить (верифицировать) эти Правила никак не получается – древостои после столь интенсивных рубок просто разрушаются, и их срочно вырубают.

Рассматривая современное состояние лесоведения, нам удалось, насколько это оказалось возможным по отечественным источникам, интегрировать новые знания и сформулировать новую парадигму лесоведения и лесоводства еще в 2016 году и срочно ее опубликовать в одном из престижных журналов «Успехи современного естествознания» [Рогозин, 2016]. Предложенный в ней перечень новых утверждений и, по сути, новая идеология выращивания леса превращают старые постулаты лесоводства в некие фантомы, мешающие

пониманию сути происходящих процессов. Новая парадигма меняет методы решения множества задач. Отметим главные. Если обнаружены константы и предельные показатели в развитии древостоев, то моделирование находит свою точку отсчета, свой «опорный экспериментальный факт» [Кофман, 1986, с. 4]. После их нахождения ***лесоводство становится точной наукой***, где текущее состояние насаждения можно оценить с помощью аналоговых моделей и рассчитывать оптимальную траекторию его развития с помощью формул.

Если же рассматривать лесоводственное обоснование ширины волоков, то нужен минимум. Поэтому его ширину предлагается нормировать шириной обычной полосы движения автотранспорта, равной 3.0 м при однополосном движении [СНиП 2.05.02-85]. Устройство обочин на технологических коридорах не предусмотрено, поэтому такая их ширина будет достаточна для движения тракторов и машин в лесу в одном направлении.

Достаточность ширины волока в 3.0 м имелась в виду в проекте Правил, обсуждавшемся в 2016 г: «При ширине междурядий лесных культур менее 3 метров ... волоки закладываются поперек рядов лесных культур». Из этого следовало, что при расстоянии 3.0 м между рядами культур ширина таких междурядий оказывалась уже вполне достаточна для передвижения лесной техники. Она может быть и менее, так как просвет между деревьями меньше его ширины на величину диаметра деревьев, т.е. она будет примерно 2.8 м.

При фиксированной ширине волока технология прореживаний становится контролируема, и площадь волоков снижается в 1.7–2.4 раза (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Рекомендуемая ширина пасек и волоков при рубках ухода

Регламенты технологии	Молодняки			Средневозрастные и приспевающие насаждения		
Ширина пасеки, м	12*	16*	24*	32	36	48
Допускаемая ширина волока, м	1,8	2,4	2,4	3,0	3,0	3,0
Площадь технологических коридоров (волоков), % площади	15,0	15,0	10,0	9,4	8,3	6,3

* - только для молодняков, далее пасеки объединяют, и волока используют через один.

Тогда возможен дифференцированный норматив для площади волоков, который должен быть утвержден, в следующей редакции: «Общая площадь

волоков (технологических коридоров) при уходе за лесом в молодняках не должна превышать 15%, а в средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных лесных насаждениях – 10% площади лесосеки. Ширина волоков не должна превышать 3.0 м».

Соответственно, интенсивность прореживаний и проходных рубок для хвойных насаждений с примесью до 2 единиц лиственных пород должна быть снижена до 10–15%.

Таковы были наши предложения в Проект правил ухода за лесом в 2017 г., когда они обсуждались. Почему же они не были учтены? Видимо, по причинам тривиального эгоизма лесопользователей. Им так сильно не нравились критические статьи заслуженного лесовода РФ, члена-корреспондента РАСХН И.В. Шутова [Шутов, 2013], что леспромышленное лобби просто перестало поддерживать научно-производственный журнал «Лесное хозяйство», который был, по сути, настольной книгой в каждом лесничестве. Идеологически лесопользователям особенно сильно помогло вытеснение термина «рубки промежуточного пользования», имеющего нейтральную окраску, термином «рубки ухода» с положительной и яркой смысловой нагрузкой.

Между тем они превратилась ныне в реальные *приисковые рубки*. Цель таких рубок – поиск деловых стволов, например, строительного леса с диаметром 26–28 см. Но если в старину деревья просто искали и рубили выборочно, то сейчас для этого прокладывают систему волоков и рубки называют «коммерческими», хотя их смысл прежний – изъятие нужной древесины. Каких только ухищрений не предпринимают их адепты, обходя острые углы и намеренно забывая о статьях ученых, где результаты были негативными. Лукавство ученых-«рубкоуходников» поистине виртуозно – можно почитать статьи на эту тему в журнале «Лесохозяйственная информация» в период 2015–2017 гг., после которых остается стойкое ощущение обмана читателя и ухода в сторону от проблем лесного хозяйства.

Наша столь резкая критика основана на массе примеров, о которых специалисты знают давно, но предпочитают умалчивать, соблюдая негласный кодекс профессиональной «этики». Длится это десятилетия, и даже Гринпис не может побороть этот профессиональный эгоизм.

Можно ли вывести эту систему из равновесия и заставить измениться? Дело в идеологии лесопользования. Она реализует себя через законы, правила, инструкции. И если специалисты озабочены первоначальным накоплением капитала – то следует ожидать только ухудшения, что и произошло в новых Правилах ухода за лесом [2017], где допустимая площадь технологических коридоров увеличилась уже до 20% (!), причем без строгих ограничений по их ширине. Более разрушительной технологии «ухода» за лесами представить уже невозможно. По сути, это постепенные рубки *главного пользования*, начинаемые в среднем возрасте.

Аэрокосмические методы позволяют ныне быстро и объективно проверить эффекты от реализации теорий старой парадигмы лесоводства, например, через мониторинг 15–20-летних последствий прореживаний и проходных рубок. Вопрос только в том и состоит, *захотят ли* сторонники коммерческих рубок ухода сделать это. Более чем понятно, что они найдут якобы убедительные причины отказаться от такой проверки.

ВЫВОДЫ, НАУЧНАЯ НОВИЗНА, ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее важные выводы

Основные выводы оформлены ниже единым списком для облегчения восприятия всех результатов.

1. В возрасте 184 года расстояние до ближнего соседа влияло на диаметр дерева с силой 0.8–2.8%. На средний диаметр двух деревьев на концах этого расстояния оно повлияло с силой 4%.

2. Оптимальным расстоянием между двумя соседними деревьями в возрасте 184 года является 161–440 см, где сформировались самые крупные деревья. Поэтому разреживания среди лидирующих деревьев в молодом возрасте следует проводить при расстояниях между ними менее 160 см.

3. Деревья-соседи коррелируют диаметрами: крупное влияет на малое и корреляция понижается, начиная от расстояния между ними более 450 см. При этом на расстояниях 84–450 см она была равна r = 0.52, а на расстояниях 451–790 см ее значение снижалось до r = 0.27. Это указывает на партнерство деревьев, но не на конкуренцию, которая должна была бы приводить, наоборот, к снижению корреляций диаметров на близких расстояниях. В случайных парах деревьев корреляции оказались недостоверны.

4. Сила взаимного влияния диаметров деревьев-соседей (27.8%) оказалась выше на порядок, чем влияние расстояния между ними (2.2–2.8%). Т. е. партнерство деревьев (принцип или эффект группы Олли), либо некий «фактор места» (либо совместное их действие) приводит к согласованному увеличению или снижению размеров деревьев, и по своей мощности он в 10 раз сильнее действия фактора расстояния.

5. Рассчитанное исходя из густоты насаждения по средней площади питания дерева среднее расстояние между деревьями составило 547 см. Расстояние в ½ на него и равное 270 см и менее было принято в качестве критерия выделения биогрупп, т.е. скопления деревьев. В таких биогруппах из 2–5 деревьев в возрасте 184 года продолжает расти 40.4% деревьев сосны.

6. Средние диаметры деревьев в биогруппах, с расстоянием между деревьями 84 –270 см, и по насаждению в целом отличались недостоверно и не более чем на 1.0%. Однако в плотных биогруппах, с расстоянием между деревьями менее 150 см и на участке с более сухими условиями и большей на 5.9% густотой, средний диаметр деревьев в них снизился на 8.2% в сравнении со средним на этом участке. В то же время на участке с оптимальными условиями густоты и влажности такого снижения не наблюдалось.

7. Деревья-кандидаты в плюсовые деревья с превышением диаметра на 30% сформировались в 41% случаев в биогруппах с расстоянием между деревьями 84–270 см, т.е. в таком же числе случаев (40.4%), что и в целом по всем деревьям древостоя. Это свидетельствует о том, что у самых крупных деревьев не было преимуществ в их расположении относительно соседей.

8. Чтобы понять механизм взаимодействия деревьев в биогруппе, использовали отношение диаметра большего дерева к меньшему (Дmax / Дmin). Выдвинули гипотезу, что если отношение будет больше в биогруппах, то конкуренция в них будет сильнее. Выборки из 112 деревьев в биогруппах и такого же числа деревьев в контроле показали, что это отношение одинаково и равно 1.27. Средние диаметры также были равны (39.0 и 39.2 см), несмотря на громадные различия в средних расстояниях между деревьями – 195 см в биогруппах и 525 см в контроле. Получается явный парадокс – при усилении взаимодействия в несколько раз деревья совершенно не реагировали на это усиление, что свидетельствует не о конкуренции, о партнерстве деревьев-соседей на ближних расстояниях.

9. Если рассматривать деревья в концепции экологической ниши и считать их организмами, по-разному потребляющими ресурсы, то полученные выше отношения Дmax/Дmin совпадают с «постоянной Хатчинсона», равной 1.3. Она была введена для понимания того, что при таком ее значении конкуренция между симпатрическими видами минимальна, так как они, по характеру их питания, занимали разные экологические ниши.

10. В выборке из пар деревьев-соседей отношение квадрата диаметра большего дерева в паре к меньшему $Д^2max/Д^2min$ оказалось статистически не отличающимся от Золотого сечения, равного 1.618; но в случайных парах деревьев оно было достоверно больше. Это свидетельствует о наличии биологической константы в структуре древостоя.

11. Можно полагать, что если «Золотая пропорция» 1.618 будет статистически доказана в каком-либо древостое по отношению $Д^2max/Д^2min$ в соседствующих парах деревьев, то он будет охарактеризован как безупречное и устойчивое сообщество. Но что будет, если она нарушится – еще только предстоит выяснить, и это будет главной задачей в изучении экогенеза древостоев и моделей их структуры. По-видимому, она может служить также критерием правильности проведенных лесохозяйственных мероприятий, для чего следует использовать указанное отношение, рассчитанное по 50–60 парам деревьев-соседей.

12. Возраст сосны в изученном массиве оказался в среднем 184 года, с колебаниями от 174 до 195 лет. Очень крупные деревья неожиданно оказались

и в числе самых молодых. Возможно, на них повлияли генотип дерева либо места, особо благоприятные для роста деревьев, либо их взаимодействие.

13. Для связи диаметров деревьев с их высотами самый высокий по4азатель аппроксимации показал полином 4 степени. При такой форме связи деревья средних и прилегающих ступеней толщины имеют практически одинаковые средние высоты. Данная закономерность позволяет очень точно определять высоту яруса сосны по трем примерно средним деревьям.

14. При разделении массива на 4 пробных площади размером по 0.55 га, при естественной флуктуации и снижении густоты от 369 до 315 шт./га, средние диаметры и полнота повысились, соответственно, от 39.4 до 43.8 см и от 0.80 до 1.01. Лучшие показатели имеет пробная площадь с малой густотой.

15. В микроценозах, сформированных механическим делением площади 2.16 га на площадки 10×10 м, их густота в возрасте 120 лет повлияла на интенсивность отпада деревьев к 170 годам с силой всего лишь 4.7%. В остальных 95.3% случаев на отпад влияли другие факторы.

16. В макроценозах (древостоях), при делении той же территории на 18 пробных площадей размером 0.12 га, естественные флуктуации их густоты в 120–170 лет повлияли на средний диаметр сосны на них в 184 года с силой в среднем 47.3%. При такой силе влияния конкуренция между деревьями в древостое является главным фактором, детерминирующим размер деревьев.

17. Густота микроценозов в 120, 170 и 184 года повлияла на средний диаметр сосны в них с силой 11.8, 9.8 и 8.8% (в среднем 10.1%). При такой малой силе влияния густота, т. е. конкуренция между деревьями, уже не является основным фактором, определяющим размер деревьев в микроценозах в спелом и перестойном возрасте.

18. Ослабление в 4.7 раза влияния густоты микроценоза на размер деревьев в сравнении с ее влиянием в древостое (макроценозе) позволяет утверждать, что в спелом и перестойном возрасте влияние конкуренции в микроценозах минимальное и изменено на отношения партнерства.

19. Полученные результаты совершенно не соответствуют парадигме конкуренции, т.е. убежденности о главном ее влиянии на отпад и размер деревьев *во всех* структурах древостоя. Возможно, конкуренция будет более сильным фактором в молодняках и, возможно, в среднем возрасте, но в спелом древостое влияние локальной густоты, определяющей конкурентное давление, отпад и размер деревьев в микроценозе, оказалось очень малым (4.7–10.1%).

20. В репрезентативной и случайной выборке моделей (40 шт.) обнаружена недостоверная корреляция между средним расстоянием до 6–12 соседей и диаметром дерева, равная $r = 0.167 \pm 0.15$ с детерминацией $r^2 = 0.028$.

Для этой связи показатель аппроксимации тренда полинома 2-й степени был равен $R^2 = 0.008$. Эти показатели характеризуют детерминацию диаметра дерева средним расстоянием до соседей как ничтожно малую и близкую к нулю (0.8–2.8%).

21. В той же случайной выборке между доставшейся дереву площадью питания и его диаметром корреляция оказалась достоверна и равна $r = 0.293 \pm 0.145$ (детерминация $r^2 = 0.086$). Аппроксимация линии тренда линейной связи оказалась равна $R^2 = 0.092$, а по полиномам 2-й и 3-й степени $R^2 = 0.012$ и 0.036. Среднее из этих трех значений показывает, что в репрезентативной и случайной выборке сила влияния площади питания дерева на его диаметр равна всего лишь 4.7%.

22. В нерепрезентативной выборке, с ее увеличением за счет мелких и крупных деревьев до 55 шт., корреляция между средним расстоянием до 6–12 соседей и диаметром дерева в центре полигона питания оказалась достоверна при $r = 0.254 \pm 0.126$. Показатель аппроксимации степенной линии тренда этой связи составил $R^2 = 0.083$, что указывает на очень слабую (8.3%) силу влияния среднего расстояния до соседей на диаметр центрального дерева.

23. В общей выборке из 323 деревьев на участке площадью 1.09 га между доставшейся дереву площадью питания и его диаметром корреляция оказалась достоверна и равна $r = 0.277 \pm 0.051$. Показатель детерминации на ее основе равен 0.077, что близко к значениям показателей аппроксимации R^2 линий регрессии: линейной 0.076, степенной 0.075 и полиномиальной 0.078. Это дает оценку силы влияния доставшейся дереву площади питания на его диаметр в 184 года, равную в среднем 7.7%.

24. При разделении совокупной выборки на две части, в первую из которых отобрали деревья, площадь питания которых захватывала территорию прогалин, а во вторую те деревья, которые находились вдали от них оказалось, что средние диаметры вблизи прогалин были выше (40.1±0.7), чем вдали от них (37.8±0.5), и это было ожидаемо. Неожиданным оказалось другое, а именно, вблизи прогалин площадь питания коррелировала с диаметром дерева при $r = 0.400 \pm 0.075$, тогда как в местах без прогалин площадь питания вообще не влияла на диаметр дерева при $r = 0.081 \pm 0.071$. Объяснений этому пока нет.

25. Сила влияния доставшейся дереву площади питания на его диаметр оказалась в 2–4 раза меньше, чем у других авторов, использующих способ деления расстояний между соседями пропорционально их размерам, т.е. зависимые переменные величины. Однако их использование в качестве «фактора» происходит по недоразумению, допущенному в самом начале их применения в 1970-е годы. В таких полигонах *уже есть* размер дерева, так как

большая часть площади приписывается крупному, а меньшая – мелкому дереву, пропорционально их диаметрам или размерам крон.

26. Имитация очистки неслучайной выборки, состоящей из 55 модельных деревьев с увеличенным числом малых и больших по диаметру ствола, всего лишь от 1–2-х уклоняющихся значений резко увеличивала связь площади питания дерева с диаметром, повышая слабые корреляции до средних. Решающую роль при этом играет браковка центрального дерева в якобы «не типичных» местах – в биогруппах и вблизи прогалин.

27. С общебиологической точки зрения полученные выводы позволяют утверждать, что конкуренция соседей повлияла на размеры (фенотип) дерева в спелом древостое с силой менее 10%, тогда как на долю иных факторов, которые неизвестны или трудно определимы, приходится более 90% влияния.

Научная новизна

В наших исследованиях были обнаружены три новых явления.

1. Минимизация конкуренции в микроценозах в спелых насаждениях. Оказалось, что расстояние до ближнего соседа повлияло на диаметр дерева в 184 года с силой 2.2–2.8%, а площадь питания дерева – с силой 7.7%. Густота микроценозов на механических площадках 10×10 м в 120, 170 и 184 года повлияла на диаметр сосны с силой в среднем 10.1%. (8.8–11.2%). При таком малом влиянии густоты, отражающей конкуренцию между деревьями, она уже не является основным фактором, детерминирующим размеры деревьев в микроценозах.

2. Партнерство между соседствующими деревьями. В соседствующих парах деревьев диаметры крупных деревьев коррелируют с диаметрами малых деревьев при r = 0.52±0.037. Возникает эффект партнерства, или эффект группы Олли [Allee, 1931; Титов, 1978], что проявляется в согласованном увеличении или уменьшении их диаметров. По своей мощности эффект партнерства равен 27.8%, что в 10 раз сильнее, чем конкуренция за свет и корневая конкуренция, если их оценивать через фактор расстояния между деревьями, влияющий на размеры деревьев-соседей с силой 2.2–2.8%.

3. Статистическая константа в отношениях площадей сечений деревьев-соседей, равная «Золотой» пропорции. У ближних соседей отношение диаметра большего дерева к малому в среднем равно 1.27. Для площадей сечения это отношение колеблется от 1.613 до 1.675 и статистически совпадает с «Золотой пропорцией», равной 1.618. Это указывает на наличие биологической константы и на древостой в целом, как на хорошо отлаженный организм. Поэтому можно полагать, что если она обнаружена в древостое, то он

гармоничен по своей структуре и отношения партнерства деревьев в нем будут определять его гомеостаз и долговечность.

Рекомендации

В научном плане для выяснения динамики структур древостоя и связанных с ними явлений (конкуренции, партнерства, толерантности, фактора места и т.д.) безусловно, нужны исследования в более молодых насаждениях, где они могут оказаться иными, чем в спелых и перестойных древостоях. Рекомендации производству могут быть разработаны на основе новой парадигмы лесоведения, приведенной выше и включающей 20 положений.

Заключение

Полученные результаты исследования 184-летних древостоев сосны позволили выдвинуть два новых закона развития одноярусных древостоев. Зная их, можно применять эти законы в приспевающих и средневозрастных насаждениях. Новые законы подтвердили правильность выдвинутой нами ранее парадигмы лесоведения, включавшей 13 положений [Рогозин, 2016]. Сейчас к ним добавлены еще семь.

В целом полученные результаты уточнили ряд неясных вопросов по площади питания и конкуренции между деревьями на уровне древостоя, о которых, в общем-то, было известно. С другой стороны, поставленный вопрос по выяснению точного значения силы влияния густоты на фенотип дерева на уровне микроценозов позволил автору четко ответить на него, применяя достаточно простые методы анализа – по трендам связей густота×диаметр дерева и расстояние×диаметр дерева. Сила их влияния оказалась менее 10%, что в 3–4 раза слабее, чем, по литературным данным, влияет генотип дерева.

Этот вывод, вынесенный в заключение, имеет наиважнейшее значение и позволяет совершенно по-новому расставить акценты в исследованиях по лесоведению, лесным культурам, в селекции и в плантационном лесоводстве. Из него следует, что при выращивании леса основные усилия должны быть направлены на создание комфортных условий для деревьев-лидеров, имеющих лучшие генотипы, которые успешно реализуют себя как по-одиночке, так и в составе биогрупп, состоящих из нескольких деревьев.

Понимая исключительную важность этого вывода, мы проверяли его перекрестно четырьмя методами: методом ближнего соседа, методом средних расстояний до 6–12 соседей, методом индивидуальных полигонов питания и, наконец, механической разбивкой территории на площадки размером 10×10 м. Изучалось также взаимное влияние деревьев в биогруппах. Все они дали близкие результаты, в которых обнаружилась очень слабая (менее 10%) детерминированность диаметра дерева доставшейся ему индивидуальной

площадью питания и исчезающе малое влияние среднего расстояния до 6-12 деревьев-соседей (2.2–2.8%).

Также было выяснено, что в микроценозах, сформированных механическим делением площади на площадки 10×10 м, их густота в возрасте 120 лет повлияла на интенсивность отпада деревьев к 170 годам с силой всего лишь 4.7%. В остальных 95.3% случаев на отпад влияли другие факторы, отличные от влияния густоты.

Однако ценность исследований определяет не столько то, что выяснено, сколько то, что еще предстоит изучать. В нашем случае вопрос состоит в том, что если на долю конкуренции (влияния густоты) в микроценозах приходится около 10%, а на генотип 30% влияния, то остается еще более 60% влияния факторов, которые, вообще говоря, пока мало известны и не поддаются точным измерениям. Оказалось также, что во взаимоотношениях между деревьями конкуренция отнюдь не доминирует, а если бы это было так, то со временем деревья, «победив в конкурентной борьбе» соседей, располагались бы по-одиночке. В действительности этого нет, и 40.4% деревьев в исследованном 184-летнем древостое располагаются до сих пор в биогруппах, в том числе и самые крупные деревья, из которых выделяют плюсовые деревья.

Мы доказали, что диаметры деревьев в биогруппах коррелируют между собой, что указывает на наличие между ними партнерских отношений. Поэтому перспективы исследований видятся нам в изучении этих явлений в молодняках и средневозрастных насаждениях, где в период пика прироста и после него разворачиваются ключевые моменты драмы их развития.

Наконец, обнаружение действия всеобщего закона «Золотой пропорции» у соседствующих деревьев в значениях отношений их площадей сечений, равное 1.618, свидетельствует о правильности выбранных методов исследования. Партнерство между деревьями скрепляет структуру древостоя в единое целое и не дают ему погибать из-за излишней внутренней конкуренции.

Эти новые знания коренным образом меняют наши представления о древостое как сообществе древесных растений. Постепенно и не очень быстро они будут менять наши представления о биологических механизмах, структурирующих древостой, где присутствует не только конкуренция, но и гармония взаимоотношений между деревьями. Понимая внутренние механизмы и законы развития насаждений, можно будет далее ввести универсальные критерии для оценки их благоприятного состояния и существенно упростить столь пространные ныне Правила ухода за лесом.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Чем больше мы исследуем Природу, тем больше она предлагает нам загадок. Так же случилось и у меня, когда пару лет назад я закончил масштабные исследования по селекции сосны обыкновенной и ели финской и написал не только несколько книг и учебное пособие «Лесная селекция», но еще и монографию под названием «Селекция ели финской: диссимметрия и хемомаркеры», вообще единственную в своем роде. Она была написана сразу после того, как заявка в РФФИ на тему хемомаркеров хвои поддержана не была и стало ясно, что все наработки нашей лаборатории Экологии леса ЕНИ ПГНИУ за 30 лет, включая патент на опознание по хемомаркерам до 83% быстрорастущих семей ели скоро все забудут, и они не будут востребованы по причине отсутствия крупных проектов по воспроизводству хвойных лесов в России. Пришлось о лесной селекции забыть и мне, написать по ней последнюю книгу и завидовать лесной селекции в Белоруссии, которая обогнала Россию, кажется, уже навсегда.

Поэтому летом 2016 года я переключился на классическое лесоведение, благо совсем недалеко находились прекрасно сохранившиеся старые сосновые леса, в которых студенты нашего Пермского университета уже 5 лет проходили со мной полевую практику по лесоведению.

Как полученные выше новые знания послужат лесному делу в России, будет зависеть от многих причин. Возможно, ничего не изменится, а может быть и того хуже. Есть признаки того, что я определил бы как «лесная наука мешает производству». Задача производства – производить продукты, а задача науки – производить новые знания. Однако новые знания требуют отбросить старые идеологемы, а далее менять технологии. Но если новые технологии окупятся лишь через 50 лет – то менять в лесохозяйственном производстве никому, ничего и никогда не захочется добровольно – такова уж природа «рыночного» Человека. И только катастрофические последствия неверных управленческих решений и технологий подвигнут общество на какие-то изменения. Автор такую ползучую катастрофу в лесах наблюдает уже более 30 лет как результат проведения «ухода» за лесом – прореживаний и проходных рубок, и технология их только ухудшается. Она становится предельно грубой и разрушительной, о чем мы говорили в первой главе, причем именно потому, что адепты этих рубок замалчивают их разрушительные последствия, отлично видимые на космических снимках.

Нельзя не сказать и о том, какой отпор вызывают у адептов таких рубок данные, которые я пытался опубликовать в некоторых журналах.

Так, показательна рецензия, которую я получил на статью, написанную после анализа ближних расстояний между соседями. Заметим, что наш результат – для 184 лет, т.е. для перестойного возраста. Обычно же оптимальное расстояние между деревьями ищут в возрасте 60–100 лет, или даже раньше, и нам не встретилось работ для старшего возраста. Интересно ведь узнать, на каких расстояниях конкуренция деревьев все еще влияет на их размер в перестойном возрасте? В данной книге и в одной из статей мы доказали, что это расстояние начинается менее чем от 160 см. Однако весьма авторитетный оппонент, со множеством публикаций по лесным культурам, совершенно безаппеляционно отверг эти сведения, как не имеющие новизны, на основании того, что «…в соответствии с Правилами лесовосстановления, утвержденными приказом МПР от 26.06.2016 г. № 375 первоначальная густота культур, созданных сеянцами, должна быть не менее 3÷4 тыс. шт./га, а саженцами 2 тыс. шт./га (пункт 37 Правил). Эти показатели соответствуют густоте, предложенной в Вашей статье – 2÷6.5 тыс. шт./га при оптимальном размещении растений от 90÷100 см до 170÷440 см».

Во-первых, ничего такого по первоначальной густоте культур и «оптимальном размещении растений», различающемся в 2–4 раза, я не предлагал. Во-вторых, и это главное, оппонент отвергает новое понимание в расчетах оптимального *ближнего* расстояния между деревьями. И этому пониманию противопоставляются не научные результаты, а действующие Правила, незыблемость которых не подвергается сомнению. Ну что тут сказать. Кому-то важно лес просто сажать и выращивать, ссылаясь на Правила, где параметры расстояний между растениями размыты и различаются в 2-4 раза, а нам было важно понять, как же лес растет и чем закачивается его развитие.

Но если в выращивании леса, по мнению оппонента, все параметры известны, то тогда следует закрыть раздел «лесные культуры» во всех научных журналах, а заодно и научную специальность 06.03.01, и далее ничего уже по лесным культурам не изучать. В общем, надо перестать «баловаться наукой» и делать дело строго по Правилам, утвержденным приказом МПР.

Была рецензия и еще на одну статью, написанную по результатам анализа площадей питания по простым полигонам. Статья прошла рецензирование у четырех оппонентов, и один из них был не согласен с применением простых полигонов питания. Мои ответы на замечания я свел в таблицу.

Замечания рецензента	Ответ автора
1. Во-первых, необходимо отметить, что и в случае простого половинного деления расстояний между деревьями, пропагандируемого автором, остается в несколько завуалированном виде та же самая проблема, поскольку расстояние между деревьями *также* определяется их размерами – суммой радиусов крон, высотой большего дерева и т. д..	От рецензента нужна ссылка на работы, где есть доказательства того, что «…расстояние между деревьями *также* определяется их размерами – суммой радиусов крон, высотой большего дерева и т. д.». Нам такие работы неизвестны. С чего бы это вдруг размеры деревьев «завуалировано» начали влиять на расстояние между ними? Может, все наоборот, и расстояние – это фактор, а размеры деревьев зависят от него (от густоты и от расстояний между деревьями), и чем реже они стоят, тем шире кроны и крупнее деревья. Лесоводы всегда так считали, и густоту снижали прочистками. *Считаю замечание радикально ошибочным, из которого вытекают все последующие замечания.*
2. Во-вторых, опасения относительно ложных корреляций в данном случае совершенно напрасны. Например, площадь круга (1) зависит от радиуса (2), от которого в свою очередь зависит периметр окружности (3). Нет ничего удивительного и плохого в том, что существует известная связь между (1) и (3).	Если площадь круга (1) взять в качестве фактора, то радиус круга (2) и периметр круга (3) будут его частями, атрибутами. Без них площадь просто исчезнет, и связь тут функциональная. Но если в центр круга вставить дерево и сказать, что площадь круга будет определяться размером дерева и будет тем больше, чем дерево крупнее – то это значит, что площадь будет зависимой переменной. Более того, это будет значить, что мы *априорно приписываем* дереву агрессивные намерения по захвату территории для своего питания, если оно больше своего соседа. *Считаю замечание ошибочным.*

Из этих замечаний вытекали четыре последующих замечания, на основе которых рецензент потребовал «…серьезного обоснования (либо смены) позиции автора и более адекватной обработки экспериментального материала». Причем высказывалось пожелание усложнить и увеличить объем исследований. Ответ я написал на семи страницах, приложил ряд публикаций в обоснование своей позиции, но через пару недель получил отказ в публикации. Пришлось написать редактору – «Ну что ж, прощайте…» и прекратить сотрудничество с весьма уважаемым журналом.

Заметим, что у этого оппонента талантливо получались красивые обороты речи с незаметной подменой понятий, из которых следовали ложные выводы; такой прием известен как софистика, т. е. как некий интеллектуальный фокус с выводами, которые только кажутся правдивыми. Такой прием широко использовал когда-то академик К. А. Тимирязев; для его статей против антидарвинистов был характерен воинствующий эмоциональный стиль, подмена понятий и ненаучные методы и уловки, о чем мы упоминали в главе 1 [Поздняков, 2016, по Усольцеву и др., 2018, с. 233]. И негативные последствия такой подмены мы ощущаем более 100 лет, в виде крена исследований в биологии в сторону изучения исключительно конкурентных взаимодействий.

Теперь о перспективах исследований.

Как это ни странно, данная книга – только начало новых исследований! В последние годы мы установили, что размещение деревьев-лидеров в насаждении определяют так называемые «малые геоактивные зоны». Исследований по ним совершенно недостаточно для понимания как их природы, так и воздействия на биоту. Пока известны лишь отдельные работы в этом направлении [Марченко, 1995; Горелов, 2007, 2014; Рогозин, 2016; Рогозин, Копылов, Красильников, 2017].

Новый материал для этих необычных исследований нами уже собран и ждет своего часа. В 2019 г. будет ряд статей на тему взаимодействия между деревьями и геодинамическими активными зонами, и далее автор надеется издать монографию на эту тему, используя данные по исследованному здесь массиву сосны. Туда мы включим исследования по кедру сибирскому, а также по другим породам и многолетним растениям, растущим на малых геоактивных зонах. В ней будет проведен анализ наблюдаемых в лесах явлений – биогрупп, прогалин, особо крупных деревьев и влияние на их размеры и долговечность геологических разломов земной коры разной формы и протяженности.

В прочитанной книге читатель узнал о структуре древостоя, так сказать, с классической стороны, и известные методы обработки данных показали нам детерминацию 40% причин, влияющих на рост деревьев (<10% – влияние площади питания дерева и расстояний между деревьями и ≈ 30% – влияние генотипа). Поразительно, но тогда получается, что мы совершенно не знаем, что представляют собой оставшиеся 60% сил влияния.

В будущей книге мы надеемся выяснить, *какие* это факторы, и можно ли будет вообще называть их *известными* и как-то измерять их. На этой интригующей ноте позвольте закончить эту книгу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.С. Энергетическая модель хода роста запаса древостоев и возможности ее применения для решения задач устойчивого управления лесами //Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всеросс. научн. конф. «Научные основы устойчивого управления лесами» М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С . 10–13.

Баландин Р.К. Анти-Дарвин. Миражи эволюции. М.: «Яуза, Эксмо», 2010. 350 с.

Большакова Н. В. Влияние густоты и размещения посадочных мест на рост ели при выращивании культур по интенсивным технологиям. Автореф. дис. ... к. с-х. наук. С-Пб., 2007. – 24 с.

Борисов А. Н., Иванов В. В., Екимов Е. В. Метод оценки пространственного распределения ресурса в экологической нише // Сибирский лесной журнал. 2014. № 5. С. 113–121.

Борисов А. Н., Иванов В. В., Петренко А. Е. Оценка реакции соснового древостоя Красноярской лесостепи на рубку ухода // Лесоведение. 2014. № 4. С. 22–27.

Бузыкин А.И., Гавриков В.Л., Секретенко О.П., Хлебопрос Р.Г. Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 1985. – 94 с.

Вайс А.А. Связь текущего прироста деревьев с морфологическими и социальными показателями на примере древостоев Восточной Сибири // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2009. №47(03). http: //ej.kubagro.ru / 2009 /.

Вайс А.А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности (на примере насаждений Западной и Восточной Сибири): Автореф. дис. …. д-ра с.-х.наук. Красноярск, 2014. – 33 с.

Верхунов П.М., Черных В.Л. Таксация леса. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 395 с.

Вороной Г.Ф. Избранные труды. Киев: АН УССР, 1952. С. 239-368.

Георгиевский Н. П. О развитии насаждений при рубках ухода // Развитие русского лесоводства. М.-Л., 1948. С. 112-179.

Георгиевский Н. П. Рубки ухода за лесом . М.: Гослесбумиздат, 1957. – 141с.

Голиков А. М. Эколого–диссимметрийный и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. 2011. №5. С.46-51.

Голиков А.М., Бурый Н.Л. Влияние густоты посадки на рост и конкурентные отношения энантиоморф сосны и ели в 28–летних плантационных культурах // Рациональное природопользование и перспектива устойчивого развития лесного сектора экономики: Тез. докл. конф. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2008. С. 78-81.

Голиков А.М., Жигунов А.В. Использование эколого–диссимметрического подхода в селекционной практике генетического улучшения хвойных лесов: Методические рекомендации. СПб: СПбНИИЛХ, 2012. – 62 с.

Горелов А.М. Биолокация и ее использование в изучении растений. Киев: Фитосоциоцентр, 2007. – 112 с.

Горелов А.М. Эколого-морфологические основы концепции фитогенного поля. Автореф. дис. по специальности 03.00.05. – ботаника. Нац. Ботанич. сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины. Киев, 2014. – 39 с.

Горячев В.М. Влияние пространственного размещения деревьев в сообществе на формирование годичного слоя древесины хвойных в южнотаежных лесах Урала // Экология. 1999. №1. С. 9-19.

Грабарник П. Я. Анализ горизонтальной структуры древостоя: модельный подход // Лесоведение. 2010. №2. С.77-85.

Грабарник П. Я., Секретенко О. П. Анализ горизонтальной структуры древостоев методами случайных точечных полей/ / Сибирский лесной журнал. 2015. № 3. С. 32-44.

Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 360 с.

Грибанов В.Я. Пространственная структура древостоев // Структура и рост древостоев Сибири. Красноярск: ИЛиД, 1993. С. 55-67.

Давидов М.В. К вопросу об установлении типов роста древостоев в натуре // Лесной журнал, 1977. № 6. С.11-16.

Дворецкий М.Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 125 с.

Демаков Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 414 с.

Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический ун-т, 2018. – 432 с.

Демаков Ю.П. Сухостой с живым комлем? // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 2. Йошкар-Ола, 2007. С. 331-333.

Демаков Ю.П., Сафин М.Г. Особенности проявления микроценотических эффектов в молодняках на олиготрофных болотах республики Марий Эл // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства. – Йошкар-Ола, 2008. С. 197-200.

Демаков Ю.П., Медведкова Е.А. Особенности проявления микроценотических эффектов в сложных смешанных древостоях // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. С. 124-131.

Демаков Ю. П., Исаев А. В Закономерности роста деревьев сосны в пойме рек Большой и Малой Кокшаги //Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. - Йошкар-Ола, 2009. С. 68-123.

Демаков Ю. П., Сафин М. Г., Нехаев И. Н. Пространственное распределение и взаимовлияние деревьев в чистых сосновых древостоях [Электронный ресурс] // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. С. 93-102. URL:http://csfm.marstu.net/ publications.html.

Демаков Ю.П., Сафин М.Г., Швецов С. М. Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. – 276 с.

Демаков Ю.П., Исаев А.В., Нехаев И.Н. Характер освоения деревьями жизненного пространства в пойменных биогеоценозах // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага», Вып. 6. Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. С. 163-184.

Демаков Ю. П., Исаев А. В., Сафин М.Г. Закономерности динамики прироста деревьев сосны в различных типах леса заповедника // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. С. 101-138.

Демаков Ю. П., Исаев А. В. Закономерности динамики радиального прироста деревьев дуба в пойменных лесах заповедника // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. С. 139-156.

Доржиев Б. Ч., Очиров О. Н., Содномов Б. В. Возможности радиотомографии для решения задач определения горизонтальной структуры древостоя // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 36–44. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.36.

Душков В.Ю. Биотехнология, программы ООН и устойчивое развитие// Материалы IX научно-практической конференции, посвященной памяти А.А. Дунина-Горкавича. Ханты-Мансийск, 2013. с. 27-36.

Желдак В.И. Совершенствование правил ухода за лесами // Лесохозяйственная информация. 2015. № 1. С. 22-32.

Желдак В.И., Атрохин В.Г. Лесоводство: учебник. Часть 1. М.: ВНИИЛМ, 2003. – 306 с.

Зайченко Л.П. Исследование размещения деревьев в сосновых древостоях // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1973. Вып. 2. С. 82-87.

Закономерности лесной таксации. Методическое пособие. Под ред. В.Антанайтиса. Каунас: ЛитСХА, 1976. – 128 с.

Исаков Ю.Н. Эколого-генетическая изменчивость и селекция сосны обыкновенной: Автореф. … докт. биол. наук. СПб: СПбЛТА, 1999. – 36 с.

Ипатов В.С., Тархова Т.Н. Количественный анализ ценотических эффектов в размещении деревьев по территории // Ботанический журнал. 1975. № 9. С.1237-1250.

Кайрюкштис Л.В., Юодвалькис А.И. Явление смены характера взаимоотношений между индивидами внутри вида // Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1976. Вып. II. С. 16–24.

Калинин К.К. Лесоводство: курс лекций. Изд. 2-е, стереотипное. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. – 248 с.

Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. - М.: Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.

Карев Г.П. Эргодические свойства стационарных состояний лесных экосистем//Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1999. вып.17. С. 122-141

Касимов А.К. Развитие корневых систем в посадках и посевах при механической обработке почвы // Лесной журнал. 1995. № 2-3. С. 30-38.

Катасонов В.Ю. О проценте ссудном, подсудном, безрассудном. Хрестоматия современных проблем «денежной цивилизации». М.: НИИ школьных технологий, 2011.304с.

Кислов Д.Е., Прилуцкий А.Н., Брижатая А.А.Статистический анализ неоднородности горизонтальной структуры древостоев//Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 268-276.

Колобов А.Н. Подходы к построению моделей динамики древесных сообществ // Региональные проблемы. 2012. Т. 15. № 1. С. 5-15.

Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход//Лесоведение. 2014. №5. С. 72–82.

Колтунова А.И. О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Эко-потенциал. 2013. № 3-4. С. 136-142.

Комин Г.Е. Изменение рангов деревьев по диметру в древостое//Труды института экологии растений и животных: Свердловск, 1970, вып. 67. С. 18-26.

Костерин О.Э. Дарвинизм как частный случай «бритвы Оккама» // Вестник ВОГиС. 2007. Том 11. № 2. С. 416-431.

Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. – М.:Гослесбумиздат, 1963. 627 с.

Кропоткин П.А. Взаимная помощь среди животных и людей как двигатель прогресса. Пб.-М.: «Голос труда», 1922. 342 с.

Котов М.М., Котова Л.И., Лебедева Э.П., Шведов Е.И., Вяткин А.М. Типы деревьев сосны по росту в высоту и их значение в семеноводстве // Лесн. журнал, 1977. № 6. С. 23-27.

Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.

Кофман Г.Б., Гуревич М Ю. Предельные и оптимальные состояния древостоев // Сибирский экологический журнал. 2001. №5. С.623-629.

Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977.–160 с.

Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев. Новосибирск: Наука, 2013.-208 с.

Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2009. – 320 с.

Лебков В.В. Дендрометрические основы структурно-динамической организации древесных ценозов сосны: Автореф. дис ... д-ра биол наук. М., 1992. – 43 с.

Логвинов И.В. О некоторых особенностях строения и росте смешанных сосново-еловых насаждений типа леса сосняк-черничник Ленинградской области// Техническая информация по результатам научно-исслед. работ ЛТА. Ленинград, 1955. С. 65-71.

Лесков Н.Д. Особенности таксационной характеристики и структуры биогрупп в типе леса бор-брусничник //Труды по лесному хозяйству Уральского лесотехнического института. Свердловск, 1956. С. 56-60.

Луганский Н.А., Залесов С.В., Теринов Н.Н., Щавровский В.А. Рубки ухода: Учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТА, 1993.122 с.

Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Лесоводство. Екатеринбург: УГЛТА, 1996.320 с.

Майоров Л.И. Практическая значимость размещения корней сосны и ели в культурах// Лесной журнал. 2005. №6. С. 43-47.

Мартынов А. Н. Зависимость биометрических показателей сосны от площади питания //Лесоведение. 1976. № 5. С. 85-88.

Мартынов А.Н. Динамика горизонтальной структуры древостоев ели // Труды С-ПбНИИЛХ. Вып. 21. С-Пб., 2010. С. 109-113.

Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: Придесенье, 1995. – 188 с.

Марченко И.С., Коряко В.И., Немцова О.Н., Ильюшкина А.В. Рост лучших деревьев в насаждении//Молодые ученые - народному хозяйству: тезисы докладов 2-й научно-технич. конф. Брянск: БТИ, 1983. С.46-47.

Марченко И.С., Брайко В.Б. Деревья главного пользования// Молодые ученые 40-летию победы и 1000-летию г. Брянска. Брянск: БГТИ,1985. С. 38–39.

Марченко И.С., Марченко С.И. Нетрадиционное лесоводство: Авторский курс / Ред. Мурахтанов Е.С. Брянск: БГИТА, 1998. – 419 с.

Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 168 с.

Маслаков Е. Л.Генезис социальных структур сосны в фазе индивидуального роста // Таёжные леса на пороге XXI века. СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. С. 42-51.

Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. – 406 с.

Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления: учебное пособие. Архангельск, 2011. – 239 с.

Миндеева Т.Н. Факторы изменчивости радиального прироста в одновозрастных сосняках: Автореф. дис. ….канд. сельскохозяйственных наук. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1995. 20 с.

Морозов Г.Ф. Учение о лесе: монография. Издание 7-е. Под ред. В.Г. Нестерова. М.: Гослесбумиздат, 1949. – 453 с

Назаров В.И. Эволюция не по Дарвину: смена эволюционной модели. М.: «КомКнига», 2005. С. 68–75

Набатов Н.М. Лесоводство: учебное пособие. М.: МГУЛ, 2002. – 190 с.

Нагимов З.Я. Оценка методов определения площадей роста деревьев / З. Я. Нагимов // Леса Урала и хозяйство в них / Екатеринбург, УГЛТА, 1999. Вып. 19. С. 82–98.

Нагимов З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: Дис…. д-ра с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛА, 2000. – 409 с.

Нестеров В.Г. Вопросы современного лесоводства. М.: ГСХИ, 1961. – 384 с.

Одум Ю. Основы экологии (перевод с 3-го англ. издания). М.: Мир, 1975. 740 с.

Одум Ю. Экология. В 2-х т. М.: Мир, 1986. Т.1. – 328 с. Т.2. – 376 с.

Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1977. – 323 с.

Основные положения организации и развития лесного хозяйства в Пермской области /Поволжское лесоустроительное предприятие. Пермь: Пермская экспедиция, 1977. – 524 с.

Основные положения по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. – 24 с.

Петренко А.Е., Семечкин И.В., Петренко Е.С. Густота средневозрастного древостоя сосны как характеристика этапа его жизненного цикла//Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1 (47). С. 36-40.

Плантационное лесоводство / под ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 366 с.

Плотников В.В. О горизонтальной структуре древесного яруса лесных сообществ// Лесоведение. 1968. № 5. С. 3-11.

Поздняков А.А. Теоретико-биологические представления Н.Я. Данилевского // Lethaea rossica. Российский палеоботанический журнал. 2016. Т. 12. С. 33–46.

Почвы и растительность восточноевропейской лесотундры. Л.: Наука, 1972. – 336 с.

Правила ухода за лесами. М.: МПР РФ. Приказ №185 от 16.07.2007.

Правила ухода за лесами. М.: МПР РФ. Приказ № 626 от 22.11.2017.

Проскуряков М.А. Биогруппы деревьев как управляющие центры в лесу//Биоэкологические исслед. в еловых лесах Тянь-Шаня. Алма-Ата, 1981. С.42-54.

Поляков А. К. Определение оптимальной густоты сосны в свежей субори // Лесное хозяйство. 1973. № 12. С. 14-18.

Разин Г.С. Эскизы таблиц хода роста древостоев (сосны, ели, березы и осины) с полнотой 1.0 по бонитетам//Основные положения организации и развития лесного хозяйства Пермской области. Гослескомитет СССР. В/О «Леспроект». Пермь, 1977. С. 437-455.

Разин Г. С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев//Лесоведение. 1979. № 1. С. 23–25.

Разин Г.С. Способ формирования одноярусных древостоев. Описание изобретения к авторскому свидетельству SU 1464970 A01. 15.03.1989. Бюл. №10.

Рахтеенко И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск: АН БССР, 1963. 254 с

Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия молодая», 1994. – 367 с.

Рогозин М. В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания [Электронный ресурс]: монография. Пермь: ПГНИУ, 2013. – 200 с. (2,02 Мб). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20423303

Рогозин М.В. Ранговый закон Е.Л. Маслакова и ранняя диагностика роста деревьев // Хвойные бореальной зоны. 2015. № 3-4. С. 148-152.

Рогозин М.В. Рубки ухода: старые и новые теории // Вестник Пермского ун-та. Серия: Биология. 2015. Вып. 3. С. 207-218.

Рогозин М. В. Лесные экосистемы и геобиологические сети [Электронный ресурс]: монография. Пермь: ПГНИУ, 2016. – 171 с. (7,2Мб). http://elibrary.ru/item.asp?id=26090628

Рогозин М.В. Старая и новая парадигмы в лесоводстве и лесной селекции // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 94–98.

Рогозин М. В. Фантомы теорий рубок ухода // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №4 (17). С. 48–55. http://www.bulletennauki.com/rogozin-1

Рогозин М.В. Площадь питания дерева: анализ методов // Бюллетень науки и практики. 2018-а. Т. 4. № 7. С. 34–37. http//www.bulletennauki.com

Рогозин М.В. Рост сосны в зависимости от расстояний до соседних деревьев // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2018-б. № 3. С. 64-69.

Рогозин М.В. Лесная селекция. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям): 35.03.01 – «Лесное дело» (квалификация бакалавр), 35.04.01 – «Лесное дело» (квалификация магистр) М.: Изд. дом Академия Естествознания, 2018-*в*. – 298 с. [Сетевое учебное издание].

Рогозин М.В., Андреев Д.Н. Туризм в лесах Пермского края.//Географія та туризм. Науковий збірник. Випуск 28. Київ, 2014. С. 82-90.

Рогозин М. В., Голиков А. М., Разин Г. С. О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы//Вестник Поволжского гос. технолог. ун-та. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 3 (23). С. 5-17.

Рогозин М.В., Голиков А.М., Жекин А.В., Комаров С.С., Жекина Н.В. Селекция ели финской (Picea × fennica (Regel) Kom.): диссимметрия и хемомаркеры [Электронный ресурс]: монография; под ред. М. В. Рогозина. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. – 120 с. (38 Мб). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=31986072.

Рогозин М. В., Разин Г. С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы [Электронный ресурс]: монография / под ред. М.В. Рогозина. Пермь: ПГНИУ, 2015.– 277с. (11 Мб). URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793.

Рогозин М.В., Копылов И.С., Красильников П.А. Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 223-227.

Розенберг. Экология в картинках (Учебное пособие). Тольятти: ИЭВБ РАН. 2007 – 218 с.

Романов Е.М., Нуреева Т.В., Еремин Н.В. Искусственное лесовосстановление в Среднем Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2013. № 3. С.5-14.

Романовский М. Г., Щекалев Р. В. Продукционный бюджет кроны дерева: гиганты и карлики в древостое// Лесоведение. 2016. № 6. С. 438–444.

Савельева Л.С. Срастание корневых систем древесных пород. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. 72 с.

Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М.Рослесхоз, 1998. – 18 с.

Санитарные нормы и правила для автомобильных дорог. СНиП 2.05.02-85.

Санников С.Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценоза // Экология. 1981. № 6. С. 23–33.

Санников С.Н., Санникова Н. С. Лес как подземно-сомкнутая дендроценоэкосистема // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 25-34.

Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В. Очерки по теории лесной популяционной биологии. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 273 с.

Северцов А.С. Внутривидовое разнообразие как причина эволюционной стабильности // Журн. общ. биол. 1990. Т. 51. № 5. С. 579-589.

Сеннов С.Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 1993. № 11. С. 160-172

Секретенко О.П. Метод анализа пространственной структуры древостоев // Исследование структуры лесонасаждений. Красноярск: ИЛиД, 1984. – С. 88-101.

Синская Е.Н. Динамика вида. М. –Л.: Сельхозгиз, 1948. – 526 с.

Свалов Н.Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. М.: Лесная пром-сть, 1979. – 216 с.

Седых В.Н. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. – 164 с.

Седых В.Н., Максютов Ш.Ш. Генетическая типология лесов в решении задач современного лесоводства. Новосибирск: Наука, 2016. – 108 с.

Семечкин И.В., Зиганшин Р.А. К вопросу о методических подходах при построении эскизов таблиц хода роста // Лесная таксация и лесоустройство, 2010. № 1. С. 73-77.

Сеннов С.Н. Уход за лесом: экологические основы. М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 127 с.

Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса// С-Пб.: СПбНИИЛХ, 1999. – 98 с.

Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство: Учебник для студентов вузов. М.: Академия, 2005. – 256 с.

Синягин И. И. Площади питания растений. М.: Рослельхозиздат, 1975. – 384 с.

Сляднев А.П. Причины срастания корней деревьев // Лесн. хоз-во. - 1953. № 4. – С. 82-84.

Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Сообщения института леса. Вып. 1. М.: АН СССР, 1953. С. 5-44.

Тараканов В.В. Структура изменчивости, селекция и семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Дисс.…д.с./х. н. Новосибирск: Ин-т леса СО РАН, 2003. – 454 с.

Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.

Терехов Г.Г., Луганский Н.А., Стародубцева Н.И. Начальные этапы формирования корневой системы ели в культурах на Среднем Урале //Леса России и хозяйство в них. 2014. №4 (51). С. 24 –31.

Титов Ю.В. Эффект группы у растений. Л.: Наука, 1978. – 151 с.

Тихонов А.С. Лесоведение. Учебное пособие для студентов вузов, 2-е издание. Калуга: ГП «Облиздат», 2011. – 330 с.

Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений. М.– Л.: Новая деревня, 1927. – 113 с.

Тябера А.П. Площадь роста дерева и ее определение аналитическим способом // Лесной журнал. 1978, № 2. С. 12-16.

Тябера А.П. Вопросы территориального размещения деревьев в сосновых древостоях // Лесной журнал. 1980, № 5. С. 5-8.

Тябера А. П. Влияние площади роста деревьев на таксационные показатели и качество древесины сосняков Литовской ССР // Лесоведение. 1982. №2. С. 78–84.

Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации: утв. Федер. службой лесного хозяйства России 11.01.2000. М., 2000. – 197 с.

Уоддингтон К. Морфогенез и генетика. Пер. с англ. М.: Мир, 1964. – 320 с.

Уранов А.А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. Т.1. М. – Л.: Наука, 1965. С. 251-254.

Уранов А.А. Вопросы изучения структуры фитоценозов и видовых ценопопуляций // Ценопопуляции растений. Развитие и взаимоотношения. М.: Наука, 1977. С. 8-20.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. 191 с.

Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 556 с.

Усольцев В.А., Семышев М.М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ // Вестник Марийского ГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2010. № 2(9). С. 5-12.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Акчурина Г.А., Осмирко А.А., Кох Е.В. Фитомасса деревьев в конкурентных условиях: исследование системных связей средствами информационных технологий.. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – 526 с.

Фарбер С.К., Соколов В.А. Методологические основы моделирования древостоев. Учеб. Пособие. Красноярск: «Дарья-печать», 2005. – 79.

Чернов Н.Н. Биотектоника – методологическая основа изучения форм в живой природе. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 137 с.

Чернов Н.Н., Соловьев В.М., Нагимов З.Я. Методические основы лесокультурных исследований. Екатеринбург: УГЛУ, 2012. – 421 с.

Чижов Б.Е., Горшкова В.В., Николаев А.И. Предложения в правила ухода за лесами//Вестник московского государственного университета леса. 2015. №2. С. 74–79.

Чудный А.В. О размещении деревьев в популяциях сосны обыкновенной //Лесоведение. 1976. № 5. С. 63-68.

Чумаченко С.И. Моделирование динамики многовидовых разновозрастных лесных ценозов//Журн. общ. биол. 1998. Т. 59. № 4. С. 363-376.

Шанин В. Н. Моделирование горизонтального распространения корней деревьев в различных условиях местообитания // Лесоведение. 2015. № 2. С. 130-139.

Швиденко А.З., Щепащенко Д. Г., Нильсон С., Бугуй Ю. И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Издание второе. Международный институт прикладного системного анализа. М.: Рослесхоз, 2008. – 886 с.

Шутов И.В. Лесной вариант утопии Томмазо Кампанеллы «Город солнца» //Лесное хозяйство. 2013. № 4. С. 11–13.

Шутов И.В., Л.Н. Товкач, Минакова Н.М. и др. Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны // Лесн. хоз-во. 2001. №4. С. 18-20.

Хильми Г.Ф. Биогеофизическая теория и прогноз самоизреживания леса. М.: Наука, 1955. 88 с.

Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса. М.: Наука, 1957. – 205 с.

Царев А.П. Программы лесной селекции в России и за рубежом: монография. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. – 164 с.

Эйтинген Г.Р. Рубки ухода за лесом в новом освещении. М., 1934. – 224 с.

Юновидов А.П. Растущие сосновые пни // Лесное хозяйство и лесоэксплуатация. 1935. № 12. С. 24.

Allee W.C. Animal aggregations: A study in general sociology. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1931. 431 p.

Assmann E. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbestanden. BL W Verlagsgesellschaft. Muenchen- Bonn- Wien, 1961. 490 s.

Assmann E. Die Forstentwicklung unserer Ertragstafeln // Allg. Forstwiss. Centralbl., 1962, Bd.l7. S. 817-821.

Biging, Dobbertin, 1992; Biging G.S., Dobbertin M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees // Forest Sci. 1992. Vol. 38. P. 695-720.

Bucht S. The influence of some different thinning patterns on the development of Scots pine stands // Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. 1981. Vol. 4. P. 1-274

Golikov A.M. Adaptive disparity of dissymmetrical forms of Pinus silvestris L. and Picea abies L. Karst. in the north–west of Russian SFSR. // Symmetry of structure. Interdisciplinary symmetry symposia, 1. Budapest: The Hungarian Academy of Sciences, 1989. P. 168-171.

Eriksson L. Competition models for individual trees after cleaning // Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. 1976. Vol. 99. P. 1-85.

Pukkala T. Effect of spatial distribution of tress on the volume increment of a young Scots pine stand // Silva Fennica. 1988. Vol. 22. P. 1-17.

Pukkala T. Methods describe the competition process in a tree stand // Scand. J. Forest. Res. 1989. Vol. 4. No 2. P. 187-202.

Pukkala T., Kolström T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine // Silva Fennica. 1987. Vol. 21. P. 55-67.

Pretzsch H. Zum Einflüβ des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs // Allg. Forst- und Jagdzeitung. 1995. Bd. 166. No 9/10. P. 190-201.

Stern K., Gregorius H.R. Schätzungen der effektiven Populationsgrösse bei Pinus sylvestris // Theor. And Appl. Genet. - 1972. Vol.42, N3. P. 107-110.

Stern K. Über die Ergebnisse einiger Versuche zur räumlichen und zeitlichen Teilung des Pollens einzelner Kiefern // Ztschr. Pflanzenzucht. - 1972. - Bd.67, H.4.S.313-326.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Стандартная таблица запасов для равнинных лесов Пермского края. Суммы площадей сечения Σg, м^2/га и запасы, м^3/га (данные взяты из таблиц Г.С. Разина по источнику: Основные положения по организации и ведению лесного хозяйства в Пермской области. Пермь: В/О Леспроект, Пермскоя экспедиция, 1977).

Высота господст. части, м	Ель, пихта		Сосна, лиственница		Береза, ольха черная		Осина, ольха серая, тополь		Липа мелко-листная	
	Σg	запас, м^3/га	Σg	запас, м^3/га	Σg	запас, м^3/га	Σg	запас, м^3/га	Σg	запас, м^3/га
1	2	10	2	10	1	10	2	10	2	10
2	4	15	4	15	4	15	4	15	4	15
3	8	20	8,5	25	7	20	7	20	8	20
4	12	40	11,6	40	11	30	11	30	12	40
5	15	50	14,5	50	14	40	14	50	15	50
6	17	70	16,8	65	15	50	16	60	17	60
7	19	80	18,8	80	17	60	17	70	19	80
8	21	90	20,6	90	19	80	19	90	21	90
9	22	110	22,3	106	20	90	20	100	23	110
10	24	130	24	120	22	110	22	120	24	120
11	26	140	25,4	140	23	120	23	130	26	140
12	27	160	27,1	160	25	140	25	150	28	160
13	29	180	28,8	180	26	160	26	170	29	180
14	30	200	30,2	200	27	180	27	190	31	200
15	32	230	31,5	225	28	190	29	210	33	230
16	34	250	33,1	250	29	210	30	230	34	250
17	35	280	34,5	270	30	230	31	250	36	280
18	37	300	36	300	31	250	32	280	38	310
19	38	330	37,3	330	32	270	33	300	40	340
20	40	360	38,6	360	33	290	35	330	41	360
21	41	390	39,8	390	34	310	35	350	43	400
22	42,4	410	40,8	420	34	330	36	370	45	430
23	43,7	440	41,9	445	35	350	37	400	46	460
24	45	470	42,8	470	36	360	38	420	47	490
25	46	500	43,7	500	36	380	39	450	48	520
26	47	530	44,5	525	37	400	40	470	48	530
27	48	560	45	550	37	420	40	490	49	560
28	48,8	590	45,6	570	37	440	41	520	49	580
29	49,5	610	46	590	37	450	41	540	50	610
30	50	640	46,4	610	38	470	41	560	50	640
31			46,7	628						
32			46,9	645						
33			47,2	660						
34			47,3	675						
35			47,5	690						
36			47,6	700						

Примечание: для сосны данные приведены по линиям тренда (см. рисунки ниже) и пролонгированы до высоты 36 м; для других пород – с округлением до м^2/га и десятков м^3/га

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

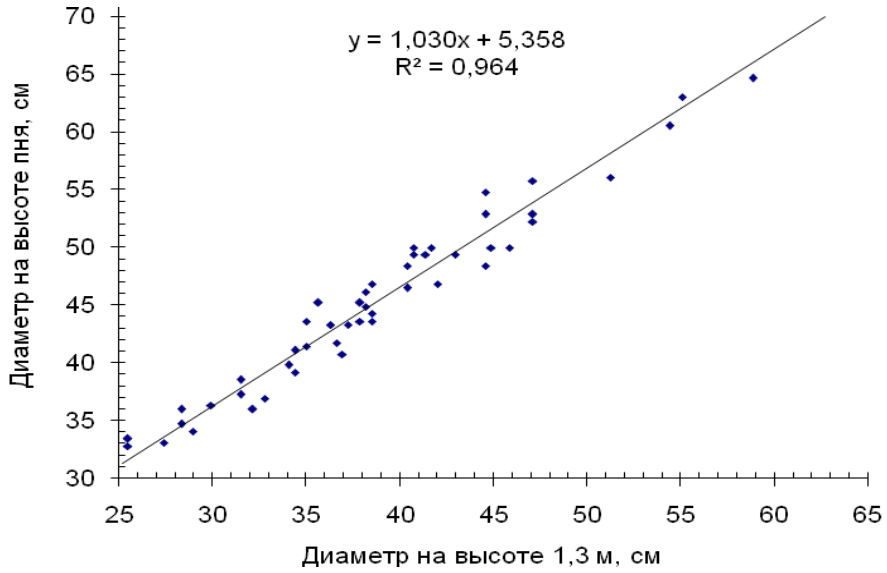
Пробные площадки размером 10×10 м

Пробные площади 10×10 м были образованы механическим делением готовой карты площадью 2.2 га. Их номера указаны в центре, всего 216 площадок. Для удобства склеивания листов после печати некоторые листы даны без полей справа. Первые четыре листа – участок «Северный» (площадки 0-107). Следующие четыре листа – участок «Южный» (площадки 108-215).

Условные обозначения на схеме:

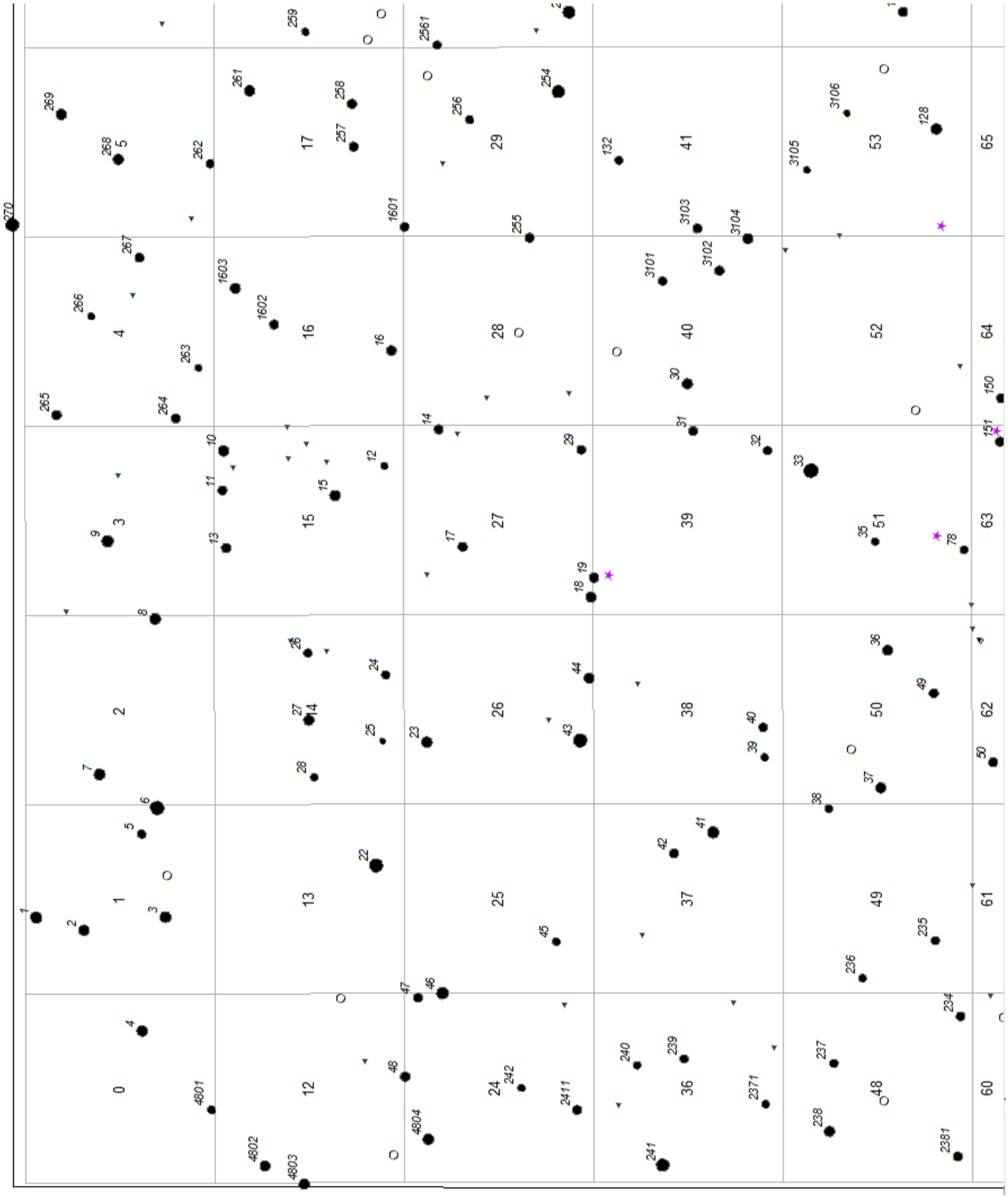
- черные точки – деревья сосны и их номера курсивом, точки показаны в масштабе по диаметру ствола на высоте пня (35-40 см);
- фиолетовые звездочки – ель диаметром 20 см и более;
- пустые овалы – места, где росли ветровальные деревья;
- треугольные точки – отпавшие за 60 лет деревья: сухостойные, валежные, старые пни и следы пней.

Всего в массиве пронумеровано 735 деревьев. Некоторые были пропущены либо добавлены потом, и поэтому их номера начинаются с тысяч. Например, рядом с деревом 48 участок расширили и добавили деревья 4801, 4802, 4803 и 4804. Для перехода на диаметр «у пня» использовали полученную после измерений 50 деревьев эмпирическую формулу:

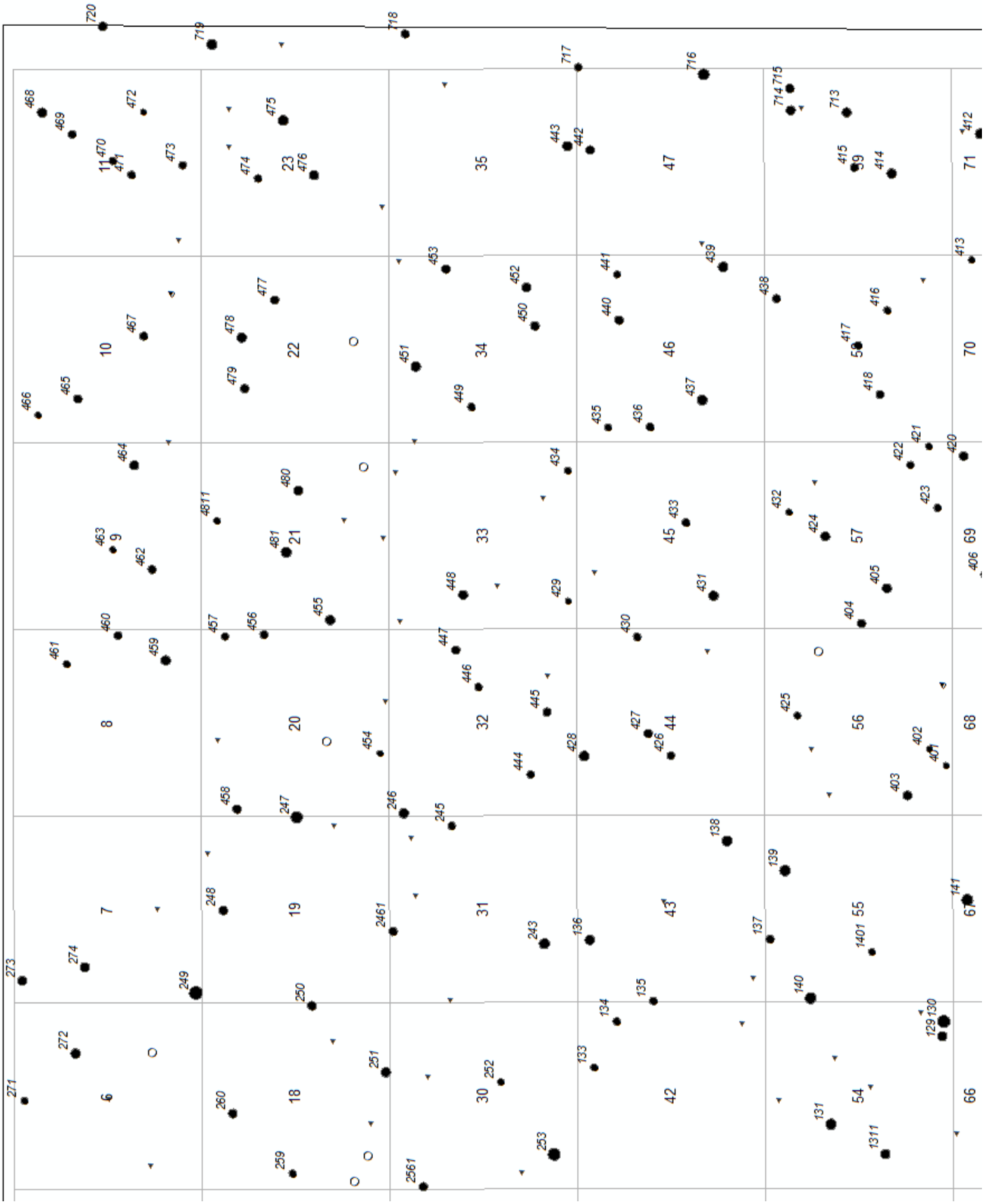


Автор разрешает использовать приводимые здесь материалы всем желающим в своих целях, со ссылкой на страницы данной монографии.

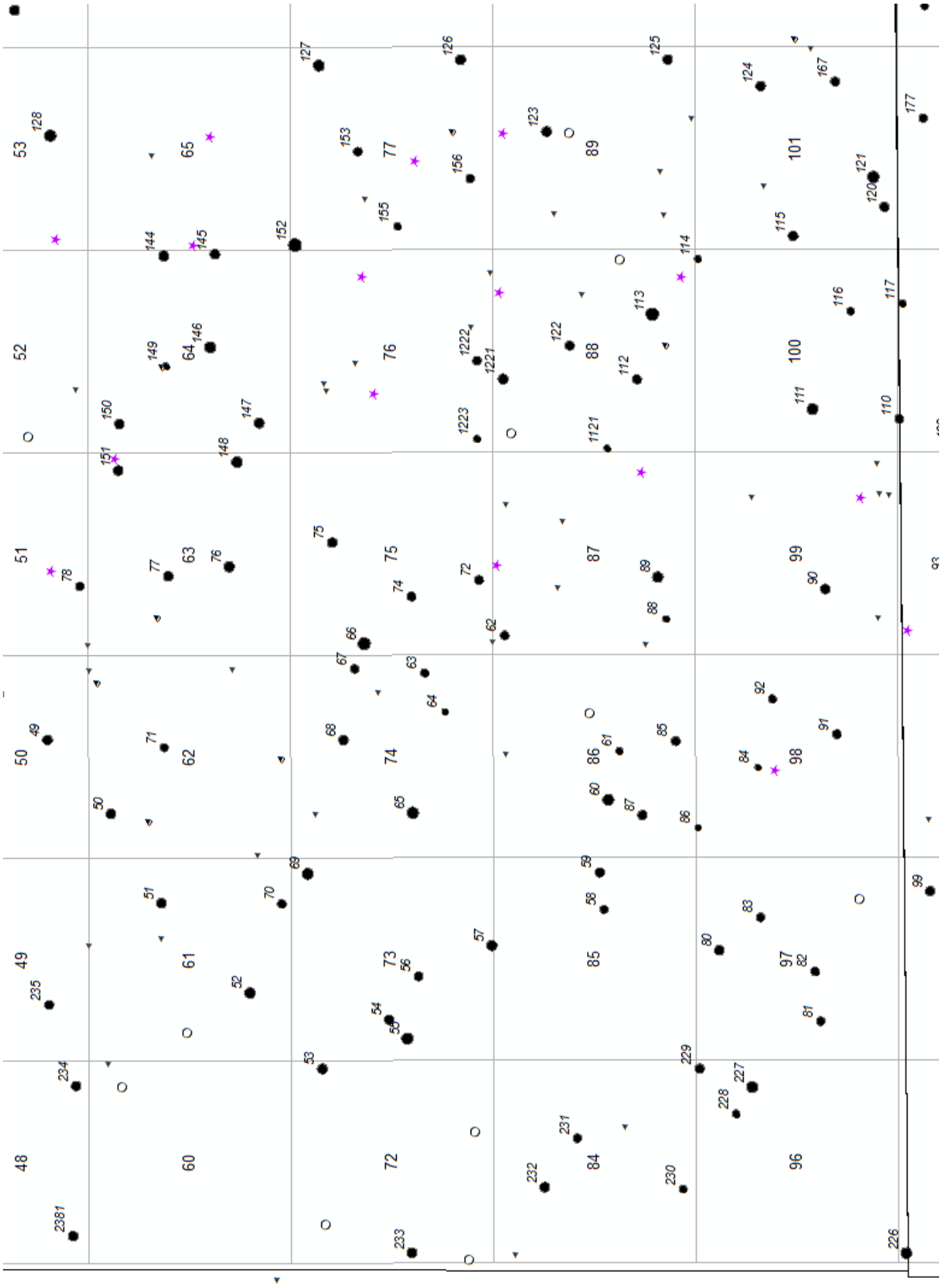
Западная часть 1 участка «Северный»



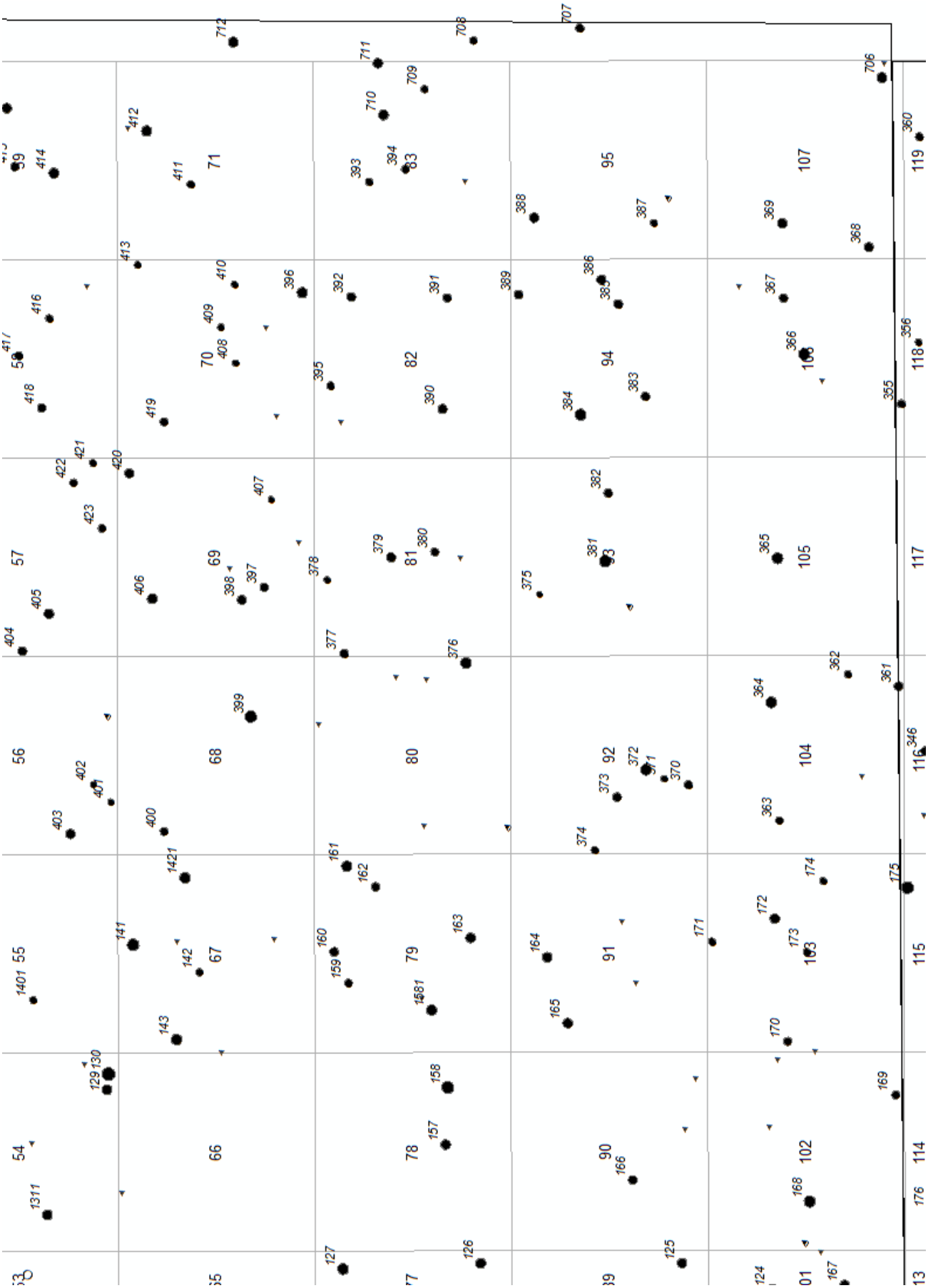
Восточная часть 2 участка «Северный»



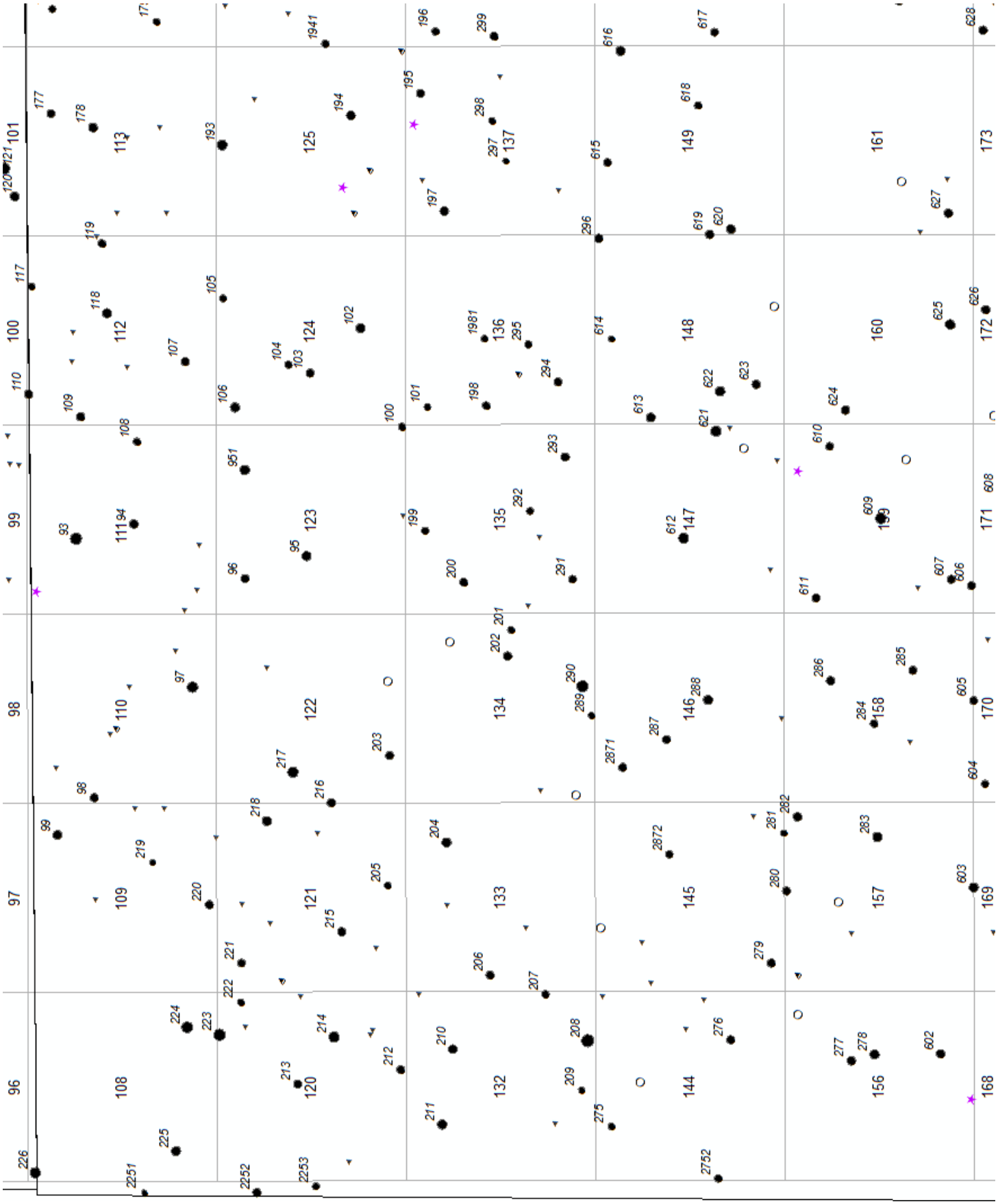
Западная часть 3 участка «Северный»



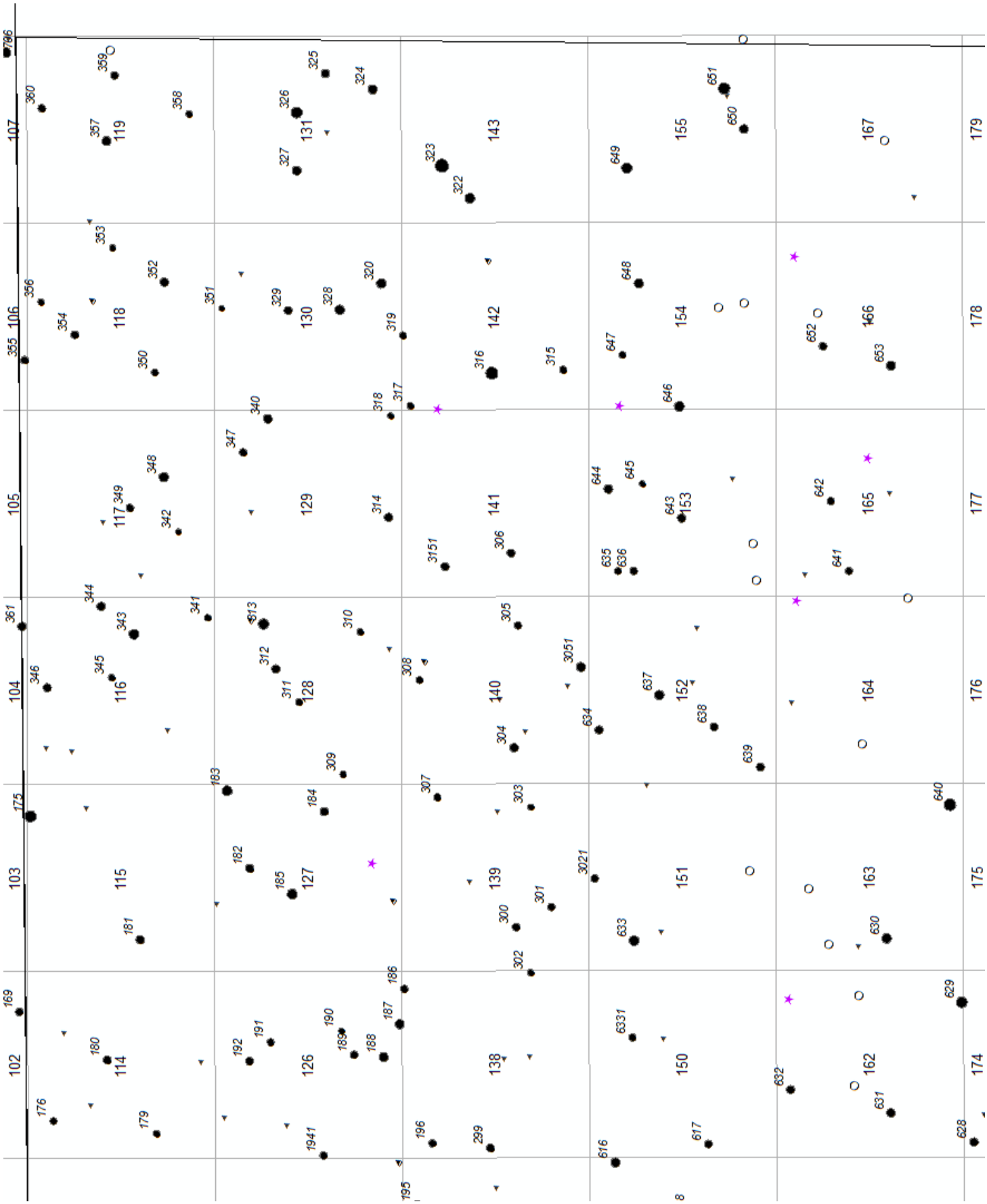
Восточная часть 4 участка «Северный»



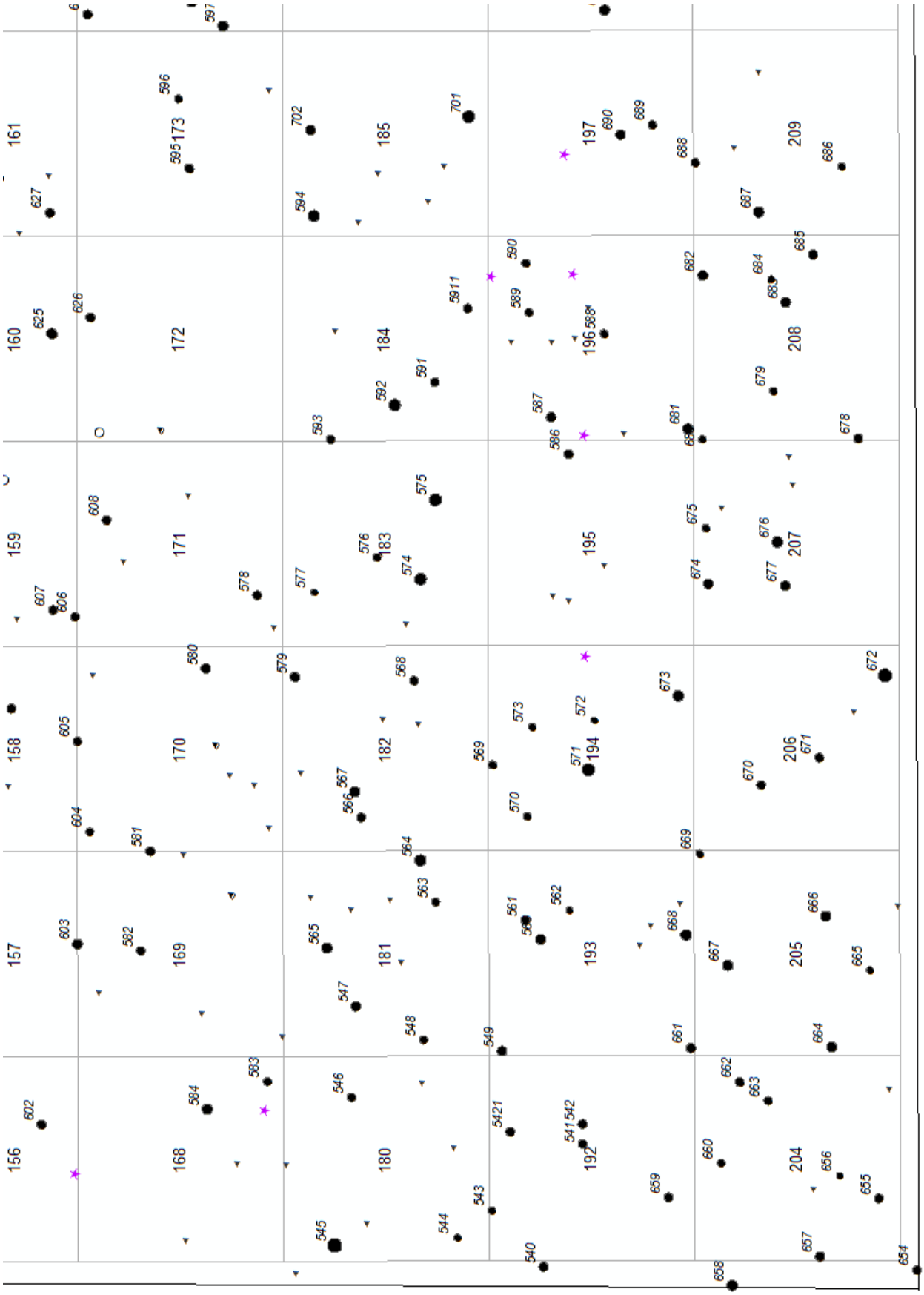
Западная часть 1 участка «Южный»



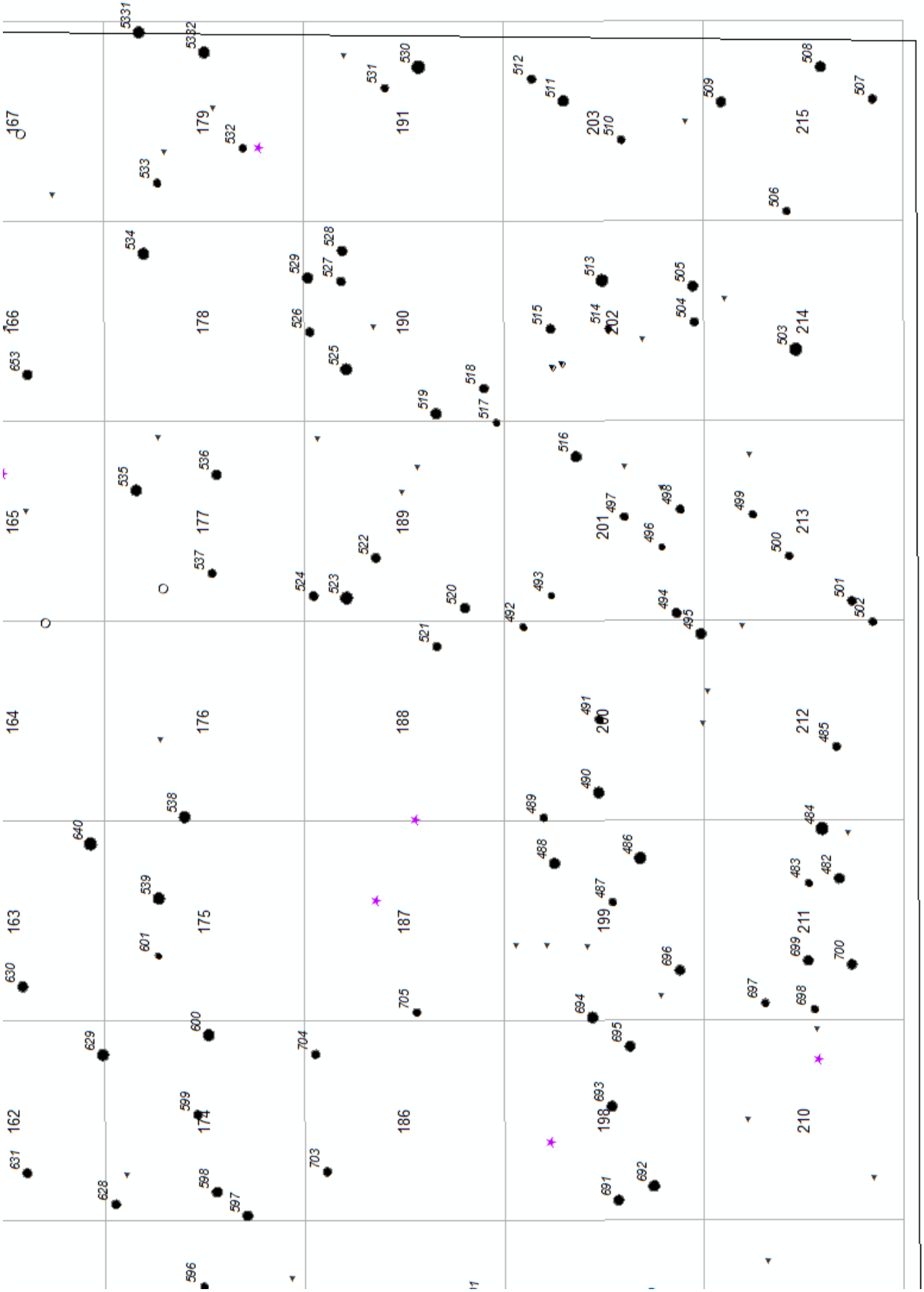
Восточная часть 2 участка «Южный»



Западная часть 3 участка «Южный»



Восточная часть 4 участка «Южный»



ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Данные о диаметрах и высотах сосны, участок «Северный»

№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м
1	54,1		49	43,9	34,30	113	56,7	35,00	162	36,9	
2	50,9		50	42,3		114	29,0		163	43,6	
3	52,5		51	44,3		115	44,3		164	46,2	
4	51,9		52	46,5		116	34,4		165	43,3	
5	40,1		53	43,3		120	40,8		166	39,2	
6	65,9	35,65	54	41,7	36,30	121	51,4		167	39,2	
7	53,8		55	50,3	35,65	122	38,8		168	50,6	
8	53,5	33,30	56	39,5		123	43,3		169	35,3	
9	55,7		57	45,8		124	42,5		170	35,0	
10	50,3		58	36,0	32,75	125	42,5		171	31,8	
11	42,7		59	41,7		126	46,2		172	43,6	
12	31,5		60	49,3	33,45	127	49,2		173	32,5	
13	44,9		61	29,3		128	50,3		174	29,3	
14	43,0	34,20	62	38,5		129	44,9		226	48,4	
15	50,9		63	36,3		130	59,2	35,00	227	51,3	
16	46,5	35,10	64	28,3	30,30	131	51,9		228	33,4	
17	43,6		65	51,6	35,40	132	36,5	34,00	229	41,7	
18	49,3		66	54,8	35,95	133	31,4		230	34,1	
19	45,2		67	36,9		134	33,9		231	36,6	
22	64,0		68	43,6		135	36,3		232	43,3	
23	51,6	35,45	69	49,7	35,15	136	46,2		233	45,5	
24	40,1		70	36,6	33,75	137	37,9	35,20	234	41,7	
25	22,6		71	35,0	31,80	138	48,2	36,50	235	39,2	
26	39,2		72	39,2		139	50,3		236	35,3	
27	48,4		74	39,5		140	53,2	34,00	237	40,4	
28	35,7		75	42,7		141	53,0	36,10	238	49,2	
29	41,7		76	46,5	36,95	142	32,0		239	40,0	
30	49,3		77	44,3		143	46,5		240	34,7	
31	43,6		78	38,2		144	45,0		241	60,8	
32	41,1		80	43,1	31,40	145	44,3		242	33,7	
33	68,8	37,35	81	38,4	32,75	146	50,9		243	50,0	
35	35,3		82	36,7		147	44,5		245	35,4	
36	46,8		83	36,8		148	47,4		246	44,6	
37	48,7		84	21,3		149	24,0		247	54,4	34,90
38	36,9	33,10	85	39,8		150	43,6	35,45	248	41,4	
39	34,1		86	24,0		151	42,7	35,40	249	63,4	36,00
40	40,8		87	41,7		152	58,6	36,80	250	41,0	
41	55,1	33,40	88	27,7		153	37,1		251	44,4	
42	43,3		89	47,1		155	30,9	30,10	252	29,7	
43	64,6	37,50	90	44,3		156	37,9		253	58,3	33,45
44	48,4		91	39,3		157	43,0		254	59,9	36,00
45	35,3	30,95	92	36,0		158	56,0	34,55	255	43,6	
46	57,9	35,50	110	39,5		159	34,1		256	37,2	
47	43,3		111	48,7		160	40,1		257	43,8	
48	44,6		112	39,8		161	47,8		258	44,4	

Продолжение прил. 3, участок «Северный»

№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м
259	33,1		390	41,2		435	32,0		480	43,9	
260	42,1		391	38,5		436	37,7		481	49,7	
261	50,9		392	39,9		437	46,8	34,00	706	45,2	
262	38,7		393	34,1	31,20	438	38,4		707	38,5	
263	32,2		394	34,4		439	47,8		708	32,8	
264	43,5		395	34,5		440	42,0		709	32,5	
265	45,2		396	47,0		441	31,5		710	44,9	33,30
266	32,5		397	37,9		442	40,6	32,20	711	42,9	33,20
267	43,6		398	41,3		443	45,7		712	45,2	
268	49,3		399	52,8	35,75	444	36,0		713	42,8	
269	50,9		400	36,0		445	39,8		714	43,4	32,40
270	62,1		401	24,8		446	34,7	32,85	715	41,1	32,35
271	31,7		402	22,3		447	40,4		716	53,5	
272	46,2		403	42,7		448	44,3		717	35,3	
273	43,3		404	39,6	33,25	449	35,2		718	37,0	
274	45,2		405	43,0		450	40,8	32,05	719	48,4	
361	40,1		406	45,5	34,60	451	47,8	34,60	720	41,1	
362	30,9		407	23,7		452	42,3	31,20	1121	25,6	29,85
363	33,4		408	26,7		453	41,5		1221	42,7	
364	49,2		409	29,0	29,85	454	25,8		1222	38,4	
365	49,8		410	25,2	26,10	455	44,9	33,50	1223	29,3	
366	50,9		411	33,7	30,25	456	38,5		1311	45,5	
367	37,1		412	46,7	34,25	457	34,2		1401	29,8	
368	41,1		413	29,9		458	41,3		1421	46,8	
369	43,0		414	44,9		459	45,5		1581	46,5	
370	36,0		415	37,6		460	37,1		1601	40,8	35,50
371	28,8		416	31,0		461	32,2		1602	44,3	
372	49,8		417	35,8		462	36,6		1603	48,7	
373	38,8		418	38,2		463	26,1		2371	34,7	
374	32,5		419	36,4		464	43,3		2381	44,1	
375	22,9		420	42,1		465	39,8		2411	44,3	
376	49,5		421	29,9		466	25,5		2461	40,1	
377	36,6		422	34,1	31,00	467	36,5		2561	40,0	
378	25,5	30,30	423	33,3		468	44,6		3101	38,7	
379	40,9		424	43,8	33,10	469	37,6		3102	45,0	
380	34,9		425	31,8		470	34,7		3103	42,5	
381	52,2	31,15	426	35,7		471	35,2		3104	48,4	
382	38,5		427	38,7		472	24,0		3105	29,0	
383	37,3	29,90	428	46,6		473	36,0		3106	25,2	26,15
384	51,9	32,70	429	25,0		474	34,7		4801	37,2	
385	39,2	30,55	430	36,3		475	47,0		4802	49,5	
386	41,8	31,60	431	44,8	33,40	476	46,2		4803	49,8	
387	29,9		432	25,8		477	38,8		4804	50,9	
388	42,5		433	36,8		478	45,5		4811	30,5	
389	39,8	32,85	434	30,9		479	38,8	32,00			

№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м
93	52,2	34,80	202	39,2		298	29,6		355	35,3	
94	40,1		203	37,9		299	37,6		356	27,7	
95	42,7		204	43,3		300	36,3		357	43,6	
96	36,6		205	29,3		301	34,4		358	29,3	
97	50	34,10	206	38,2		302	29,3		359	34,7	
98	37,6		207	34,1		303	28,3		360	36	
99	42	33,95	208	58,3	35,15	304	39,2		482	45,5	
100	32,8	32,20	209	28		305	34,4		483	30,3	
101	30,3	31,40	210	41,4		306	38,5		484	56,7	33,37
102	43		211	43,6		307	33,4		485	36	
103	36,6	31,90	212	37,6		308	32,2		486	52,5	34,70
104	32,8	31,65	213	37,6		309	30,6		487	33,8	
105	31,2	32,50	214	49,7		310	29,3		488	47,8	
106	42,7		215	39,5		311	31,5	30,40	489	34,1	30,10
107	36,6		216	40,4		312	38,8		490	49	
108	32,5	34,33	217	49,7	36,25	313	49,7	30,45	491	36	
109	39,5		218	43,9		314	40,4		492	28,3	29,85
117	29,6		219	24,2		315	34,1		493	26,1	
118	44,3		220	37,3		316	59,2	32,90	494	41,1	
119	36,3		221	35,7		317	29		495	47,1	
175	56	32,63	222	29,6		318	25,2		496	23,6	
176	30,9		223	55,1	36,20	319	30,9		497	33,4	
177	37,3		224	50,6		320	45,5		498	35	
178	42		225	43		321	усохшее		499	32,2	
179	30,6		275	30,6	31,15	322	47,4		500	33,4	
180	37,3		276	36,6		323	65,3	34,10	501	38,2	
181	39,5		277	40,4		324	43,3		502	34,1	
182	38,8		278	43		325	39,8		503	57,6	34,40
183	47,1	33,30	279	38,2		326	52,9	33,55	504	37,6	
184	40,1		280	38,2		327	40,8	31,25	505	46,2	
185	47,8	31,80	281	27,7		328	44,6	31,60	506	31,8	
186	33,8		282	39,2		329	38,2		507	36,6	
187	43,9		283	44,6		340	41,4		508	46,5	
188	43,0		284	36		341	30,2		509	44,9	
189	36,3		285	38,2		342	24,5		510	34,4	
190	24,5	27,00	286	39,5		343	47,8		511	48,7	35,05
191	32,2		287	36,6		344	40,1		512	38,5	
192	36		288	43,6		345	30,6		513	54,1	35,05
193	46,5		289	27,1		346	37,3		514	28	
194	41,4		290	52,5	33,65	347	33,8		515	39,5	
195	38,2		291	36,3		348	45,2		516	48,1	
196	34,4		292	30,9		349	34,7		517	27,4	
197	40,8		293	38,8	32,43	350	32,5		518	39,2	
198	36,3		294	36,9		351	21		519	46,8	
199	33,8		295	34,1		352	40,4		520	42,7	
200	36,6		296	40,4		353	27,7	27,60	521	38,5	
201	29		297	23,6		354	36		522	39,8	

Окончание прил. 3, участок «Южный»

№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м	№	Д, см	Н, м
523	54,8	34,10	581	39,8		629	50,9		677	40,8	
524	39,2		582	36,6		630	45,2		678	38,8	
525	50,3		583	33,4		631	39,2		679	30,6	
526	38,2		584	46,2		632	38,5		680	31,8	
527	39,8		585	это ель		633	46,5	31,30	681	45,2	
528	43,3		586	37,6		634	37,3		682	44,3	
529	46,5		587	42		635	32,5		683	43	
530	58,3	34,90	588	31,8		636	34,7		684	23,6	
531	31,2		589	33,4		637	46,2	31,70	685	39,5	
532	34,4	31,20	590	34,1		638	38,5		686	30,6	
533	32,8		591	37,6		639	38,2	31,48	687	48,1	
534	50,9	32,70	592	50,6		640	56,4	33,40	688	35	
535	49	30,20	593	36,9		641	34,1		689	36	
536	43,9		594	51,3	30,30	642	33,4		690	41,7	
537	36		595	39,5		643	40,1	31,85	691	45,2	
538	50,3	31,10	596	31,2		644	40,8		692	49	34,00
539	53,2	30,45	597	45,5		645	26,4		693	44,6	32,95
540	40,4		598	44,6		646	47,4		694	49	32,40
541	36,6		599	36,6		647	31,8		695	45,9	
542	37,9		600	51,6	31,95	648	42,7		696	42,7	
543	32,2		601	21		649	50		697	32,2	30,60
544	27,4		602	39,2		650	41,1	30,60	698	31,8	35,10
545	62,7	36,23	603	43		651	54,4	32,40	699	43,9	
546	36,3		604	32,2	30,30	652	36,3		700	43,9	
547	42		605	35,7		653	44,3		701	53,2	
548	32,8		606	37,9		654	35,1		702	42,7	
549	41,7		607	37,6		655	38,5		703	37,9	
560	43,6	34,00	608	38,5		656	28,3		704	36,9	
561	35	32,20	609	49		657	40,8		705	32,8	
562	25,5		610	36,3	32,50	658	44,9		951	44,9	
563	34,4	31,20	611	36,9		659	38,2		1941	34,1	
564	48,4		612	47,1		660	31,5		1981	29,3	
565	44,6	31,75	613	41,7	32,20	661	40,4		2251	21	
566	36,9		614	25,5	27,05	662	38,2		2252	38,2	
567	44,6	32,90	615	36		663	35,7		2253	31,2	
568	38,5		616	44,3		664	43		2752	33,1	
569	36,3		617	36	34,50	665	28,3		2871	37,3	
570	34,4		618	32,8		666	45,9		2872	34,4	
571	54,4	34,30	619	39,8		667	44,6		3021	35	
572	25,5		620	40,8		668	47,1		3051	43,9	
573	29,9		621	49		669	29		3151	37,9	
574	51,3		622	44,6		670	38,5		5331	50,3	
575	55,1	35,00	623	39,2		671	37,9		5332	51,9	33,95
576	34,1	30,30	624	39,2	31,10	672	58,9	35,28	5421	37,3	
577	25,2		625	44,9		673	47,1		5911	37,9	
578	37,6		626	38,8		674	41,4		6331	33,4	
579	41,7	33,90	627	39,2		675	31,5				
580	41,4	33,30	628	39,5		676	47,1				

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Рогозин Михаил Владимирович, родился 22.10.1950 в г. Перми. Окончил лесохозяйственный факультет Уральского лесотехнического ин-та (1973), работал лесничим в Туганском лесхозе Томской обл. С 1976 г. младший, затем старший научный сотрудник, зав. лабораторией «Экологии леса» Естественнонаучного института Пермского гос. нац. исслед. ун-та с 2000 г. и по настоящее время. Доктор биол. наук (2014). Профессор кафедры биогеоценологии и охраны природы, каф. ботаники и генетики растений ПГНИУ, кафедры лесоводства и ландшафтной архитектуры ПГАТУ.

Научные интересы: лесоведение, лесная таксация, лесные культуры и селекция, структура насаждений и геоактивные зоны. Автор 185 публикаций, в т.ч. пяти монографий: Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели. Пермь, 2012. (соавт. Г.С.Разин); Селекция сосны для плантационного выращивания. Пермь, 2013. http://elibrary.ru; Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы. Пермь 2015. http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793 (соавт. Г.С.Разин). Лесные экосистемы и геобиологические сети. Пермь: ПГНИУ, 2016. http://elibrary.ru/item.asp?id=26090628. Селекция ели финской (*Picea* × *fennica* (Regel) Kom.): диссимметрия и хемомаркеры. ПГНИУ, 2017.. https://elis.psu.ru/node/440267 (соавт. Голиков А.М., Жекин А.В., Комаров С.С., Жекина Н.В.).

Наиболее важные статьи: Уроки лесной селекции //Лесн. хоз-во. 2013. № 6; О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы // Вестн. Поволжск. гос. технол. ун-та. 2014. № 3 (соавт. Г.С. Разин, А.М. Голиков); Старая и новая парадигмы в лесоводстве и лесной селекции//Успехи современного естествознания. 2016. № 4; Фантомы теорий рубок ухода // Бюллетень науки и практики. 2017. №4 (17). С. 48–55.

Автор учебного пособия для студентов высших учебных заведений ЛЕСНАЯ СЕЛЕКЦИЯ. Москва. 2018. 288 с. [Сетевое учебное издание]. https://elibrary.ru

По данным на 01.04.2019 г. в http://elibrary.ru число публикаций автора в РИНЦ – 79, суммарных цитирований – 432, индекс Хирша – 8. Год первой публикации – 1978.

За выдающийся вклад в развитие биологической науки М.В. Рогозин награжден медалью им. Н.И. Вавилова Российской Академии Естествознания (решение Президиума РАЕ от 17.07.2017 г.).

Личная почта *E-mail: rog-mikhail@yandex.ru*

Научное издание

Рогозин Михаил Владимирович

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ: КОНКУРЕНЦИЯ ИЛИ ПАРТНЕРСТВО?

Монография

Издается в авторской редакции
Компьютерная вёрстка: *М. В. Рогозин*

Объем данных 8,43 Мб
Подписано к использованию 29.05.2019

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15