

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ)

---

*Кафедра лесоводства*

**Н. В. Беляева**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

**Д.А. Данилов**

кандидат сельскохозяйственных наук

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СОСНОВЫХ И ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ОБЪЕКТАХ  
РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ**

Санкт-Петербург  
2014

ББК 43.я73  
УДК 630\*2

Рассмотрено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета  
15 марта 2012 г.

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесного хозяйства  
Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого  
**М.В. Никонов**

Доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом агрохимии  
и агроландшафтов лаборатории экологии лесоаграрных ландшафтов  
ГНУ Ленинградского НИИСХ «Белогорка» Россельхозакадемии **А.Н. Красновидов**

**Беляева, Н.В.**

Закономерности функционирования сосновых и еловых фитоценозов на объектах  
рубок ухода и комплексного ухода за лесом / Н.В. Беляева, Д.А. Данилов. – СПб.: Изд-  
во Политехнического университета, 2014. – 164 с.

Монография посвящена изучению влияния рубок ухода и комплексного ухода за лесом на продуктивность, устойчивость и видовое разнообразие сосновых и еловых насаждений. Данной работой фактически подводятся итоги длительных 40-летних экспериментов с рубками ухода и удобрениями в хвойных древостоях. Авторами выполнен сравнительный анализ влияния рубок ухода и комплексного ухода за лесом на рост и продуктивность сосновых и еловых древостоев. Выявлены возможности повышения общей производительности и продуктивности хвойных древостоев, параметры устойчивости этих насаждений, а также структурные и функциональные изменения в сосняках и ельниках под воздействием рубок ухода и комплексного ухода за лесом. Оценено воздействие рубок ухода и комплексного ухода на видовое разнообразие в сосновых и еловых древостоях. Установлены закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под влиянием рубок ухода и комплексного ухода за лесом. Получены математические модели, отражающие причинно-следственные связи между таксационными и климатическими показателями. Исследования подтверждают лесоводственный эффект рубок ухода и комплексного ухода, который проявляется в ускорении восстановительных процессов в лесных фитоценозах, повышении их продуктивности и устойчивости, улучшении количественных показателей формируемых древостоев. Работа имеет несомненную ценность для практики ведения лесного хозяйства, особенно в той его части, которая касается ускоренного формирования насаждений целевого хозяйственного назначения.

Предназначено для инженерно-технических и научных работников лесного комплекса, бакалавров и магистров направления 250100 «Лесное дело», аспирантов специальности 06.03.02 – лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация.

Библиогр. 201 назв. Табл. 29. Ил. 17. Прилож. 17

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 Состояние вопроса</b> .....	<b>8</b>
<b>ГЛАВА 2 Общеметодологический подход к исследованию эффективности ухода за лесом в лесных биогеоценозах</b> .....	<b>25</b>
<b>ГЛАВА 3. Программа, методика и объекты исследования</b> .....	<b>29</b>
3.1 Программа исследования.....	29
3.2 Методика исследования.....	31
3.3. Объекты исследования .....	34
<b>ГЛАВА 4 Сравнительный анализ влияния рубок ухода и комплексного ухода за лесом на продуктивность и устойчивость сосновых и еловых древостоев</b> .....	<b>39</b>
4.1 Продуктивность древостоев.....	39
4.1.1 Дополнительный прирост.....	40
4.1.2 Общая производительность древостоев.....	50
4.2 Устойчивость древостоев.....	57
4.2.1 Интенсивность восстановления текущего прироста.....	58
4.2.2 Отпад .....	63
4.2.3 Соотношение величин отпада и текущего прироста .....	67
4.3 Анализ зависимости продуктивности и устойчивости древостоя от климатических показателей.....	70
<b>ГЛАВА 5. Структурные и функциональные изменения в сосновых и еловых древостоях под влиянием рубок ухода и комплексного ухода за лесом</b> .....	<b>81</b>
5.1 Структурные изменения в фитоценозе.....	81
5.1.1 Структурные изменения в древостое.....	81
5.1.2 Структурные изменения в живом напочвенном покрове.....	92
5.1.3 Структурные изменения в подросте и подлеске.....	96
5.2 Функциональные изменения в фитоценозе.....	99
5.3 Закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов».....	103
5.4 Показатели товарной структуры и качества древесины хвойных насаждений, пройденных рубками ухода и комплексным уходом, к возрасту сплошной рубки.....	105
5.5 Результаты воздействия комплексного ухода на структуру и качественные показатели древесины сосново-евого древостоя....	110
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>118</b>
<b>Библиографический список</b> .....	<b>132</b>
<b>Приложения</b> .....	<b>147</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед лесным хозяйством стоят задачи улучшения воспроизводства и использования лесных ресурсов, а также осуществление постепенного перехода к ведению лесного хозяйства на принципах непрерывного и рационального лесопользования. Здесь следует увязывать задачу улучшения лесов с потребностью в досрочном, раньше наступления спелости, пользовании древесиной. Решение этих задач в первую очередь связано с применением современных, научно обоснованных технологий лесовыращивания и лесопользования.

Одним из путей увеличения выхода продукции с единицы лесопокрываемой площади и повышения ее качества является использование в практике рациональных систем ухода за лесом. Эффективность и качество ухода за лесом во многом зависят и от того, какую цель ставит перед собой хозяйство. На практике эта идея может быть реализована посредством применения целевых программ ухода за лесом. Уход за лесом растянут во времени на весь период лесовыращивания и на каждом возрастном этапе имеет свои особенности.

Сформировать высокопродуктивный древостой заданной товарной структуры можно систематическими рубками ухода. Но рубки ухода за лесом были и остаются трудоемким, сложным и проблематичным лесохозяйственным мероприятием. Одним из путей повышения эффективности ухода за лесом стало внесение в разреженные насаждения минеральных удобрений, т.е. использование комплексного ухода за лесом.

В 1960-е годы во многих европейских странах были заложены опыты с рубками ухода и внесением удобрений по программе JUFRO (Международного союза лесных исследовательских организаций). В 1964 году такие опыты были заложены в Брянской области, несколько позднее – в Сиверском лесхозе ЛенНИИЛХа и в Карелии (Петрозаводская ЛОС). Все эти опыты доказали целесообразность и перспективность комплексного ухода, выявили особенности и возможности его применения в разных лесорастительных условиях.

Опыты с рубками ухода и внесением удобрений были заложены в Сиверском лесхозе ЛенНИИЛХа в 1970-х гг. под руководством проф. С.Н.Сеннова. На основании этих опытов были получены данные о положительном воздействии комплексного ухода на прирост древесины, ее качество, форму и полнодревесность ствола в сосновых и еловых насаждениях. Исследовались также реакции лесных фитоценозов, их отдельных компонентов на комплексный уход.

Сосна и ель относятся к основным лесобразующим породам таежной зоны. В их реакции на комплексный уход проявляется много сходства,

но экологические свойства сосны, особенно ее светолюбие, невысокая потребность в элементах питания и малая требовательность к почвам обуславливают ряд особенностей, отличающих ее от удобренных ельников. До настоящего времени почти не уделялось внимания сравнительной комплексной оценке структурных и функциональных изменений в сосновых и еловых фитоценозах под воздействием регулярного комплексного ухода за лесом. Вместе с тем, такая оценка необходима в целях более корректного и дифференцированного планирования ухода за этими насаждениями.

В связи с вышесказанным заявленная тема исследовательской работы является актуальной.

Представленная работа является продолжением исследований, начатых сотрудниками ЛенНИИЛХа и СПбГЛТА в целях изучения влияния рубок ухода и комплексного ухода за лесом на продуктивность и устойчивость чистых хвойных древостоев.

Целью исследования является выявление закономерностей функционирования хвойных лесных фитоценозов под воздействием регулярных рубок ухода и комплексного ухода, установление общих тенденций и различий в реакции на уход сосновых и еловых древостоев.

В соответствии с поставленной целью исследования предусматривалось решение следующих задач:

1) Изучение реакции сосновых и еловых древостоев на регулярные рубки ухода и комплексный уход.

2) Оценка повышения продуктивности и параметров устойчивости фитоценозов под воздействием рубок ухода и комплексного ухода.

3) Выявление структурных и функциональных изменений в сосняках и ельниках под воздействием рубок ухода и комплексного ухода.

4) Изучение структурных изменений в строении древесины (годовых колец) хвойных пород на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом.

5) Изучение показателей плотности и анатомического строения древесины хвойных пород на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом.

6) Уточнение режима рубок ухода и комплексного ухода в сосновых, еловых и сосново-еловых древостоях.

По материалам исследований были получены следующие результаты:

1) Дана сравнительная комплексная оценка структурных и функциональных изменений в сосновых и еловых фитоценозах под воздействием регулярных рубок ухода комплексного ухода за лесом.

2) Выявлены закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под влиянием рубок ухода и комплексного ухода за лесом.

3) Выявлены биолого-экологические различия в реакции сосны и ели на рубки ухода и комплексный уход.

4) Получены математические модели, характеризующие зависимость продуктивности и устойчивости сосновых и еловых древостоев от климатических показателей.

5) Выявлены закономерности количественного распределения доли ранней и поздней древесины в приросте древостоя и деревьев разных ступеней толщины на исследуемых объектах ухода за лесом.

6) Установлено влияние режима ухода за насаждениями на показатели средней базисной плотности древесины деревьев разных категорий крупности.

7) Выявлены сходные закономерности и различия во влиянии разных режимов ухода на показатели плотности и анатомического строения древесины хвойных пород в сосновых, еловых и сосново-еловых древостоях;

8) Внесены коррективы в программы комплексного ухода за лесом, обеспечивающие оптимизацию режимов формирования высокопродуктивных чистых и смешанных хвойных древостоев с высокими техническими характеристиками древесного сырья.

Результаты исследования могут использоваться для разработки и корректировки целевых программ формирования высокопродуктивных чистых и смешанных хвойных древостоев с высокими техническими показателями древесного сырья. Выявленные закономерности позволяют прогнозировать изменение структуры древостоя, показателей плотности древесины, содержания доли ранней и поздней древесины у деревьев разных категорий крупности, а также выход сортиментов к возрасту рубки спелого древостоя в зависимости от режима ухода за насаждением.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждаются значительным объемом экспериментального материала, полученного на стационарных объектах с 40-летним сроком наблюдений и неоднократным повторением приемов рубок ухода и комплексного ухода. При этом использованы современные методы сбора и обработки экспериментальных данных, элементы системного подхода к решению конкретных задач исследования. Полученный материал обрабатывался методами математической статистики с помощью приложения Microsoft Excel и пакета прикладных программ Statistika, достоверность различия между показателями определялась на 95-процентном доверительном уровне по критерию Стьюдента.

Исследование осуществлялось в тесной связи с планом научно-исследовательских работ кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по темам:

1) Основные закономерности, динамика и меры регулирования восстановительных процессов в нарушенных хозяйственным воздействием лесных фитоценозах Северо-Запада России, 2004 г.

2) Совершенствование мер хозяйственного воздействия на лесные экосистемы в целях повышения устойчивости и биоразнообразия лесов Северо-Запада Российской Федерации, 2004-2005 гг.

3) Лесоводственно-экологическая оценка структурных и функциональных изменений в нарушенных хозяйственным воздействием лесных экосистемах Северо-Запада России, 2004-2007 гг.

4) Комплексная оценка состояния, динамики, ресурсного и воспроизводительного потенциала лесных экосистем, подвергающихся хозяйственному воздействию на Северо-Западе России, 2006-2010 гг.

5) Исследование восстановительного потенциала лесных фитоценозов в условиях активного хозяйственного воздействия» – 2008-2010 гг.

6) Лесоводственная оценка хозяйственного воздействия на лесные экосистемы: продуктивность, устойчивость, биоразнообразие лесных фитоценозов, 2011-2012 гг.

## ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Комплексным уходом называют целенаправленное и регламентированное сочетание рубок ухода с внесением удобрений, иногда с обрезкой сучьев. Основным интересом, как объект лесовыращивания в системе комплексного ухода, представляют чистые хвойные и хвойно-лиственные насаждения.

Возникновение интереса к комплексному уходу является следствием поиска мер, направленных на повышение продуктивности древостоев и ускоренное лесовыращивание.

Появление комплексного ухода является результатом развития теории и практики ухода за лесом. К комплексному уходу обратились тогда, когда стало ясно, что одними, хотя бы и хорошо регламентированными, рубками ухода, общую производительность древостоев повысить нельзя (Гуман, 1929; Давыдов, 1936; Георгиевский, 1957; Сеннов, 1977, 1984, 1999; Буш, Иевинь, 1984; Мельников, 1999). Без активного воздействия на лесорастительный комплекс и улучшения условий минерального питания эту проблему не решить. Исключения могут быть сделаны для смешанных двухъярусных древостоев, но и здесь возможности рубок оказываются заметно ограниченными.

Другой причиной, вызвавшей такой интерес к удобрениям, явилось прогрессирующее повышение уровня механизации рубок, что неизбежно вело к их дальнейшей технологизации. В реальных условиях это сопровождалось повышением интенсивности рубок. Усилилась опасность перерубов, снижения запасов и устойчивости формируемых древостоев, ухудшения их санитарного состояния. Компенсировать недостатки интенсивных механизированных рубок можно путем их четкой регламентации, усиления контроля за качеством работ, а также стимулируя восстановительные процессы в разреженных древостоях (Мельников, 1990, 1999; Сеннов, 1984). Первое возможно с помощью программ рубок ухода за лесом, последнее связано с применением удобрений, которые реально повышают текущий прирост, ускоряют восстановительные реакции не только в древостое, но и в других компонентах лесного фитоценоза (Сеннов, 1984; Пшеничникова, 1986; Рихтер, 1986; Банева, 1986, 1990; Луганский, 1994; Мельников, 1999). Именно в этот период, в конце 1960-х и начале 1970-х годов, усиливается интерес к минеральным удобрениям, и начинаются активные эксперименты с ними в лесу.

Возможность использования удобрений для повышения продуктивности лесов отмечалась давно. Опыты по применению в лесном хозяйстве минеральных удобрений в России были проведены впервые в питомнике Петровской дачи, нынешней ТСХА, в 1868-1895 гг. В.И. Советовым. В Ев-



ропе в 1887 г. французский исследователь Шефалиер де Вальдроме в 5-летнем опыте с азотными минеральными удобрениями достиг увеличения прироста древесины дуба на 40%, а при внесении в почву сульфата аммония – на 24%, извести – на 17% (Луганский, Залесов, Щавровский, 1995). В Бельгии опытные работы по применению удобрений в лесу ведутся с 1890 г., в Германии они начаты в Вюртемберге в 1883 г., в странах Скандинавии: Швеции с 1897 г., в Финляндии с 1910 г. (Nutrition of trees, 1989). За рубежом опыты с удобрениями были заложены в начале XX века в лесах Германии (Мелехов, 1972; Kraub, Behm, 1978). Но только в 1950-60-х годах в связи с развитием туковой промышленности началось интенсивное удобрение лесов: сначала в опытном порядке, а затем и в более широкой практике лесного хозяйства (Исаков, 1971).

Особенно широко стали применять удобрения в странах Скандинавии. В Швеции с 1966 по 1983 гг. ежегодно удобрялось 100-189 тыс. га леса, в Финляндии в 1970-1977 гг. – 141-244 тыс. га (Kraub, Behm, 1978; Паавилайнен Ээро, 1983; Hansson Arne, 1984; Skogsgodsligen fortsatten att minska, 1985). При этом широко практиковалось внесение удобрений в средневозрастные и приспевающие хвойные древостои, особенно за несколько лет до главной рубки.

В лесах США удобрения вносили в основном в лесные культуры хвойных пород. К 1986 г. в равнинных условиях Юго-Востока и в горных лесах Северо-Запада на Тихоокеанском побережье, где этот вид ухода давал наибольший биологический и экономический эффект, было удобрено около 1 млн. га насаждений дугласовой пихты, 480 тыс. га сосны ладанной, 280 тыс. га сосны Эллиота (Allen H.L., 1987).

К концу века в этих странах оказалась удобренной большая часть насаждений, пригодных для этой цели. Соответственно наметилась тенденция к снижению темпов удобрения лесов.

В нашей стране научно-исследовательские работы, связанные с аналогичной тематикой, развернулись в 1970-х годах. Ленинградский НИИ лесного хозяйства совместно с ВНИИСХ СП ГА и Псковской ЛОС провел исследования по применению минеральных удобрений в лесах Северо-Запада таежной зоны с использованием авиации. Основной объем работ проводился в средневозрастных, приспевающих и спелых сосняках и ельниках Ленинградской и Псковской областей.

Семилетний опыт ЛенНИИЛХа показал, что под воздействием минеральных удобрений повышается прирост еловых культур по высоте на 20-80%, сосновых – на 15-30% по сравнению с контролем (Мойко, Стратонович, 1986).

На основании полученных данных была разработана методика подбора объектов, технология внесения удобрений, определены дозы для

хвойных древостоев Северо-Запада таежной зоны и установлена очередность удобрения лесных объектов: питомники, семенные плантации, школы, плантации новогодних елок, постоянные семенные участки, промышленные плантации быстрорастущих и технических пород, приспевающие и спелые древостои сосны и ели, лесные культуры ценных пород (Мойко, Стратонович, 1986).

Вместе с тем, выяснилось, что применение удобрений в лесу требует не менее четкой регламентации, чем рубки ухода. Их эффективность обусловлена правильностью выбора объекта, режима ухода за лесом и дозы вносимого удобрения.

Кроме того, далеко не всегда оказывается выгодным удобрять неразреженные, неухоженные насаждения. Без предварительной подготовки объектов, целенаправленного разреживания древостоев или лесосоушительной мелиорации, применение удобрений может не дать того эффекта, на который можно было бы рассчитывать. Об этом свидетельствуют и данные американских исследователей по изучению влияния удобрений на рост хвойных пород. Они отмечают, что положительный эффект от применения удобрений значительно усиливается (в 2-3 раза), если удобрение сочетается с прореживанием насаждений (Allen H.L., 1987). Необходимость согласованной регламентации рубок ухода и внесения удобрений вызвала появление программ комплексного ухода за лесом, посредством которых оптимизируется уход за насаждениями в целях достижения хозяйственно необходимого эффекта, как правило, при возможном минимуме затрат (Чибисов, Поротов, 1982; Синькевич, 1984; Сеннов, Максимов, Мельников, 1984; Сеннов, Банева, Игнатъев и др., 1985; Мельников, 1986, 1990, 1999; Мартынов и др., 1991).

Таким образом, при комплексном уходе сочетаются положительные результаты рубок ухода и применения удобрений в лесу. Задачи, решаемые каждым из этих видов ухода в отдельности, различны, но вместе они, во-первых, позволяют добиться качественно нового эффекта и, во-вторых, устраняют или хотя бы частично сглаживают негативные моменты как рубок, так и удобрений (Мельников, 1990, 1999).

Большинство опытов с комплексным уходом доказали целесообразность комплексного ухода и позволили выявить ряд преимуществ данной системы перед отдельным применением рубок ухода и удобрений. Они заключаются в следующем:

- 1) Рубками ухода нельзя увеличить прирост древостоя в целом. Внесение удобрений обеспечивает такое увеличение.
- 2) После разреживания не наблюдается усиления роста наиболее перспективных крупных деревьев. На удобрение они отзываются в первую очередь.

3) После рубок ухода нарушается соотношение между массой кроны и ствола, разрастается крона, особенно в первые, годы. Удобрение увеличивает прирост ствола и восстанавливает структуру надземной фитомассы.

4) Разреживание замедляет процесс отмирания ветвей, обрезка исправляет этот недостаток. Внесение удобрений ускоряет рост деревьев с укороченной кроной и зарастание срезов.

5) Внесение удобрений без рубок ухода приводит к улучшению роста деревьев пониженного качества. Сочетание обоих мероприятий исправляет эту погрешность.

Начиная с 1970-х годов, комплексный уход как лесоводственную систему начали внедрять в производство. Для комплексного ухода обычно подбирали чистые и смешанные хвойные древостои в возрасте 30-40 лет. Рубки ухода - поздние прореживания или ранние проходные, проводили по соответствующим правилам, но с более высокой (на 5-10%) интенсивностью. Если комплексный уход начинали позднее, в древостоях более старшего возраста, то в этом случае селекционный эффект рубки ослаблялся и результаты ухода были ниже (Мартынов и др., 1991; Мельников, 1999).

Удобрения вносили в насаждение, как правило, в начале вегетационного сезона (в мае-начале июня). При невозможности соблюдения этих сроков удобрение переносили на осень, до выпадения устойчивого снежного покрова. Основными удобрениями, применяемыми в лесу, являлись азотные (мочевина, аммиачная селитра) или комплексные азотсодержащие (аммофос, нитроаммофос).

Такой подбор удобрений был обусловлен тем, что азот является основным элементом, в котором лесные растения обычно испытывают недостаток. Внесение дополнительного азота практически всегда стимулирует вегетативную функцию растений, включая древесные породы. Применение азотных удобрений дает положительные результаты, как на минеральных, так и на торфянистых и торфяных почвах. Но и в том, и в другом случае важнейшим условием является нормальная дренированность почв (Мартынов и др., 1991; Мельников, 1999).

Американские исследователи утверждают также, что сбалансированное удобрение, особенно с внесением препаратов калия, способствует повышению устойчивости насаждений к вредителям и болезням (Allen H.L., 1987).

Оптимальной рекомендованной дозой удобрений в лесу является 150-180 кг/га азота (по действующему веществу). С увеличением дозы эффект повышается, но одновременно увеличиваются непроизводительные потери азота (газообразные и водные), возрастают расходы на удобрение. Чрезмерные дозы могут повреждать корневые окончания древесных рас-

тений и на некоторое время даже затормозить их рост. Уменьшенные дозы азота не дают существенного повышения прироста, но улучшают физиологическое состояние растений и активизируют обменные процессы в фитопленозе. Обычно такие дозы применяют в молодняках естественного и искусственного происхождения, в насаждениях, ослабленных болезнями, антропогенными и техногенными нагрузками, а также в профилактических целях (Мартынов и др., 1991; Мельников, 1999).

Сроки эффективного действия азотного удобрения, применяемого в оптимальной дозе 150-180 кг/га по действующему веществу, варьируют в пределах 7-10 лет. Последующие приемы комплексного ухода повышают эффект предыдущих (Шумаков, 1975; Синькевич, 1984, 1993; Булавик, Победов, 1985; Мальцев, Баркова, 1986; Мельников, 1990, 1992, 1999).

Наибольший интерес к комплексному уходу за лесом проявился в 1980-х – начале 1990-х гг. Именно тогда были получены основные результаты и накоплен опыт применения данной системы на практике.

К середине 1990-х гг. было накоплено достаточно материалов, позволяющих подвести некоторые итоги исследований комплексного ухода за лесом. Однако большинство из них касаются влияния комплексного ухода на рост древостоев и связаны, прежде всего, с такими таксационными показателями, как дополнительный прирост и общая производительность.

Большинство исследователей считают, что показателем эффективности комплексного ухода за лесом является, прежде всего, дополнительный прирост. Согласно литературным источникам, дополнительный прирост от удобрения, реализуемого в системе комплексного ухода, определенный путем сравнения изменения запасов древостоев, разреженных с удобрением и без удобрения, варьирует в пределах 1,5-2,0 м<sup>3</sup>/га в год за десятилетие, но в высокопродуктивных насаждениях он может достигать вдвое-втрое больших величин по сравнению с неразрезанными (Синькевич, 1984; Казимиров, Горбунова, 1984, 1986; Мельников, 1990, 1992, 1999). Механизм такого увеличения дополнительного прироста во многом не ясен. При этом следует отметить, что рубки ухода повышают эффективность применения удобрений, увеличивая дополнительный прирост более ценной, оставшейся после рубки части древостоя. Удобрение, активизируя восстановительные реакции в разреженном древостое, делает более динамичным и управляемым процесс формирования хозяйственно ценного насаждения (Сляднев, 1970; Паршевников, Бахвалов, Серый, 1983, 1984; Паршевников, Бахвалов, Черных, 1984; Победов, 1984; Победов, Булавик, Лебедев, 1984; Шпалте, 1984, 1986; Клинов, 1985; Коржицкий, 1985; Ковалев, Ковалев, 1986; Мельников, 1999).

Комплексный уход, как правило, позволяет получить большой лесо-

водственный эффект, чем суммарный эффект от рубок и удобрений, взятых в отдельности (Naaren Tarani, Hari Pertti, Kellomaki Seppo, 1979; Синькевич, 1984; Нестерович, Новикова, Рахтеенко):

– В 30-летних ельниках мшистых в результате комплексного ухода был получен дополнительный прирост  $5,3 \text{ м}^3/\text{га}$ , тогда как в отдельных вариантах удобрения и разреживания – соответственно  $2,3$  и  $1,3 \text{ м}^3/\text{га}$  (Новикова, 1986).

– В приспевающем сосняке проходная рубка обеспечила ежегодный дополнительный прирост  $0,70 \text{ м}^3/\text{га}$  древесины, азотное удобрение  $150 \text{ кг}/\text{га}$  по действующему веществу –  $1,33 \text{ м}^3/\text{га}$ , сочетание рубки с удобрением –  $2,62 \text{ м}^3/\text{га}$  (Шпалте, 1986).

– В средневозрастном березово-еловом двухъярусном древостое в варианте с комплексным уходом был получен дополнительный прирост  $2,2 \text{ м}^3/\text{га}$  в год за десятилетие, тогда как положительной реакции на удобрение со стороны неразрезанного древостоя не отмечалось вовсе (Мельников, 1984, 1986, 1990, 1992, 1999).

Эти примеры наглядно показывают более высокую эффективность действия удобрений в предварительно разреженных насаждениях.

Эффективность действия удобрения в значительной мере зависит от интенсивности разреживания древостоя. После разреживания резко снижается корненасыщенность почвы, в результате чего происходят потери элементов питания, вносимых с удобрениями. Так, по данным канадских исследователей после рубки насаждения ели черной интенсивностью 25% и внесения удобрения в дозе  $112 \text{ кг}/\text{га}$  азота текущий прирост по запасу увеличился в 2,3 раза, тогда как при выборке 50% запаса и такой же дозе азота прирост повысился в 2,5 раза (Wetman G.F., Roberge m.V., Meng C.H., 1980). В вариантах рубок, но без применения удобрений, в первом случае наблюдалось увеличение прироста в 1,3 раза, а во втором – в 2,1 раза. Это свидетельствует о менее эффективном действии удобрения в сильно разреженном древостое.

Однако существует мнение о том, что азотные удобрения дают больший эффект в неразрезанных древостоях (Клоков, 1984). Это можно объяснить различными условиями, в которых проводились эксперименты с рубками и удобрениями, а также многофакторностью, определяющей величину дополнительного прироста. Кроме того, следует отметить, что высокий эффект от удобрений действительно возможен без предварительного разреживания, но при условии ослабленной конкуренции в данном древостое (Мельников, 1990, 1992, 1999).

В целом же, в образовании сложносоставной величины дополнительного прироста доля влияния удобрений варьирует от 37 до 96% (Клоков, 1984; Сарнацкий, 1984, 1986; Тялли, 1986). При этом необходимо учи-

тывать, что деревья разных ранговых групп неодинаково реагируют на изменение среды. Так, в приспевающем ельнике за счет улучшения условий освещенности крон формируется 57% дополнительного прироста деревьев низших рангов, за счет повышения уровня минерального питания (удобрения) - 43%. У крупных деревьев это соотношение меняется в пользу удобрения и составляет соответственно 37 и 63%. После первого приема комплексного ухода относительный прирост деревьев всех рангов повышается примерно в равной степени (на 30-40%), но затем, по мере смыкания полога древостоя, повторные удобрения уже заметно слабее стимулируют прирост отставшей в росте части древостоя. Прирост крупных деревьев, напротив, даже усиливается (Бочаров, 1979; Бочаров, Петров, 1983; Азниева, Сарнацкий, Рихтер, 1984; Клоков, 1984; Минин, 1985, Мельников, 1990, 1992, 1999).

Приведенные выше примеры свидетельствуют также и о том, что величина дополнительного прироста изменяется в зависимости от породного состава древостоя. Однако в литературных источниках практически отсутствует информация о закономерностях изменения величины дополнительного прироста в зависимости от древесной породы и типа леса под влиянием комплексного ухода за лесом. В то же время знание этих закономерностей позволит более дифференцированно планировать уход за той или иной породой, в том или ином типе леса. Конкретнее речь об этом пойдет в одном из разделов данной работы.

Не меньше вопросов возникает при изучении информации о влиянии рубок ухода, удобрений и комплексного ухода на общую производительность древостоев. Длительные, более чем 60-летние эксперименты на пробных площадях дали убедительное доказательство того, что с помощью одних лишь рубок ухода, даже тщательно регламентируемых, общей производительности древостоев повысить нельзя (Сеннов, 1977, 1984). Удобрения же способны повысить общую производительность разреживаемых рубками насаждений на 10-15% (Синькевич, 1984; Мельников, 1999). Однако эти данные получены 15-20 лет назад в 50-60-летних древостоях. Поэтому для получения более объективной оценки возможности повышения производительности насаждений с помощью комплексного ухода за лесом к возрасту главной рубки требуются дальнейшие исследования в этом направлении с более длительным сроком наблюдений.

Одной из центральных проблем в лесоводстве является проблема устойчивости насаждений в условиях антропогенного воздействия. Обычно имеют в виду устойчивость при конкретных воздействиях, предполагая, что система должна быть устойчивой к одному виду воздействия и неустойчивой – к другому. В нашем исследовании мы будем рассматривать устойчивость лесного биогеоценоза к разным режимам комплексного ухода

за лесом. Данному вопросу до настоящего времени практически не уделялось должного внимания.

Несмотря на кажущуюся простоту и очевидность такого понятия, как устойчивость, до сих пор в экологии не выработано его однозначного общепринятого понимания, отсутствуют также соответствующие удовлетворительные математические формулировки. Устойчивость связана с целым рядом других терминов, близких по содержанию: целостность, стабильность, живучесть, надежность, норма, инвариантность, адаптация, гомеостаз и др. (Соловьев, 1985, 1987).

По мнению (Соловьев, 1985, 1987), для описания устойчивости экосистемы наиболее важны, во-первых, понятия резистентности, упругости, гомеостаза, гомеотакса, не связанные непосредственно со временем, и, во-вторых, релаксация, гомеорез и инерционность, связанные с изменениями экосистемы во времени. Именно их и следует рассматривать, исследуя устойчивость лесной экосистемы к воздействию извне, в данном случае к применению комплексного ухода за лесом.

Устойчивость экосистемы в значительной степени определяется устойчивостью биоценоза (Соловьев, 1987). Соответственно устойчивость лесного фитоценоза определяется устойчивостью его компонентов и, прежде всего, его эдификатора и доминанта, т.е. древостоя. Наиболее ярко отражает устойчивость древостоя динамика текущего прироста, отпад и их соотношение. По этим показателям можно судить о скорости восстановления параметров древостоя после воздействия на него извне. Однако данных, позволяющих сделать какие-либо окончательные выводы, на наш взгляд недостаточно, и поэтому требуются дополнительные исследования.

Об особенностях проявления конкуренции в древостое и о мере его устойчивости можно судить и по динамике распределения деревьев по ступеням толщины. Как отмечает, Е.С. Мельников (1999) анализ структуры чистых еловых древостоев подтверждает факт ослабления внутривидовой конкуренции в древостое и повышения его устойчивости в результате комплексного ухода. В то же время С.М. Синькевич (1984) ранее отмечал, что в чистых сосновых насаждениях удобрения не повлияли на конкурентные отношения в разреженном древостое. Подтвердить или опровергнуть имеющиеся данные возможно только при дальнейшем сравнительном анализе структурных изменений в сосновых и еловых древостоях под воздействием регулярного комплексного ухода за лесом, что и предполагается сделать в данной диссертационной работе.

Как уже отмечалось выше, устойчивость лесного фитоценоза к воздействию извне в целом определяется устойчивостью всех его компонентов, в том числе устойчивостью нижних ярусов растительности.

Удобрения, внесенные в разреженные хвойные насаждения, интенсифицируя биокруговорот, стимулируют развитие более динамичных и продуктивных видов (трав), при этом заметно ослабляются позиции более консервативных видов (мхов и кустарничков) (Банева, 1991; Мельников, 1999; Григорьева, 2005). Потребляя преимущественно нитратный азот, растительность живого напочвенного покрова поддерживает благоприятный для древостоя баланс между аммонийными и нитратными формами азота в почве (Мельников, 1999). Дальнейшие исследования в этом направлении позволят выявить взаимосвязи между видовым разнообразием, продуктивностью и устойчивостью фитоценоза.

Литературные данные о влиянии комплексного ухода за лесом на структурные изменения в подросте и подлеске касаются, главным образом, лиственнично-еловых и еловых насаждений.

Удобрения, внесенные в спелый березово-еловый древостой кисличного типа леса, изменяют характер межвидовых отношений. Доминирующий березовый ярус, повышая свой прирост, сдерживает развитие формирующегося яруса подлеска и ослабляет позиции ели второго яруса. В насаждении создаются благоприятные условия для появления и роста молодой генерации ели. Процесс формирования яруса подроста и подлеска растягивается на 15-17 лет, однако, впоследствии начинается возрастное усиление отпада березы и роль эдификатора постепенно переходит к ели – условия появления и развития подроста под пологом удобренного древостоя заметно ухудшаются. Процесс формирования подроста под пологом удобренного древостоя начинает тормозиться. В менее продуктивном ельнике черничном, приспевающем к возрасту главной рубки, условия для развития подлеска изначально неблагоприятны и здесь удобрения, наоборот, стимулировали появление подроста ели (Мельников, 1999).

Информации о развитии подлеска и подроста под влиянием комплексного ухода за лесом в сосновых древостоях немного и, соответственно, этот вопрос требует дальнейшей более детальной проработки.

Комплексный уход за лесом влияет на почвенные процессы (Лосицкий, 1937; Зонн, 1974; Мишустин, 1985; Малюкович, 1986; Угаров, 1986; Мельников, 1999). Он активизирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, в результате чего усиливаются процессы минерализации органического вещества в почве. В результате изменяется толщина подстилки. В первые годы после ухода она может уменьшаться на 30% (Синькевич С.М., Мельницкая Г.Б., Синькевич Т.А., 1986). Чем интенсивнее разреживание, тем тоньше становится слой подстилки. После полного удаления лиственного яруса в смешанных древостоях масса подстилки снижается в 2,2-2,5 раза (Мельников, 1989, 1990, 1999).



Исследования показывают, что уменьшение массы подстилки происходит, главным образом, за счет увеличения поступления солнечной радиации к поверхности почвы, активизации обменных процессов, а также уменьшения массы органического вещества, поступающего в почву с опадом. Если в разреженный древостой удобрения не вносили, то в первые годы после рубки заметно активизируются процессы разложения только в гумусовом горизонте, тогда как в самом верхнем слое, т.е. в подстилке, эти процессы могут даже замедляться. При внесении удобрения эти процессы заметно активизируются: в зависимости от состава древостоя, лесорастительных и погодных условий разложение органического вещества в почве, включая подстилку, ускоряется на 8-60% (Валк, 1979; Егорова, 1986; Ушакова, 1986; Мельников, 1989, 1990, 1992, 1999; Синькевич Т.А., Синькевич С.М., 1991). Этот эффект достоверно проявляется на второй год после внесения удобрения, достигает максимума на 3-5-й год (в зависимости от погодных условий) и остается вполне заметным в последующие 3-4 года (Мельников, 1989, 1990, 1992, 1999).

За счет разрастания трав, постепенного увеличения опада древесных пород, при общей интенсификации биокруговорота поступление органического вещества в почву начинает восстанавливаться и первоначальная разница между удобренными и неудобренными вариантами сглаживается. Значительную роль в балансе органического вещества в почве, особенно в первые годы после комплексного ухода, играют корни срубленных деревьев, особенно лиственных пород (Новикова, 1986).

Таким образом, благодаря комплексному уходу происходит усиление продукционных процессов и биокруговорота в лесной экосистеме (Казимиров, Морозова, 1973; Казимиров, Морозова, Куликова, 1979; Ильющенко, Кошельков, 1979; Сарнацкий, 1984; Новикова, 1986; Мельников, 1989, 1990, 1992, 1999; Синькевич Т.А., Синькевич С.М., 1991). Невостребованная древостоем часть дополнительных ресурсов перехватывается усиленно разрастающейся травяной растительностью и вовлекается в малый биокруговорот (Паавилайнен Ээро, 1983; Вомперская, Петрова-Спиридонова, 1984; Банева, 1985; Ильина, Балашова, Мальшуков, 1986; Рихтер, 1986). Другая часть этих ресурсов иммобилизуется почвенным микробоценозом, что особенно характерно для насаждений со слабо развитым живым напочвенным покровом. Таким путем реализуется ресурсосберегающая функция экосистемы: значительно удлиняются сроки действия удобрения, предотвращаются газообразные и инфильтрационные потери его подвижных форм.

Но при этом не следует забывать, что существенная черта удобрений лесов – его комплексное влияние на лесную экосистему, в том числе на почву и прилегающие водные экосистемы.

В литературе особое внимание уделяется загрязнению природных вод азотными удобрениями ввиду опасности нитратного азота – конечного продукта превращения азота удобрений в почве – для здоровья людей и животных. Исследования последних лет показали, что чаще всего это возникает в тех случаях, когда сочетаются нитратная и бактериальная загрязненность воды, в частности, coli-бактериями, способствующими восстановлению нитратов в нитриты. При отсутствии бактериального загрязнения даже относительно высокое содержание нитратов в воде не вызывает отравлений (Borchmann W. et al., 1981).

Азот выносится в водные объекты в основном со стоком с сельскохозяйственных угодий. Ранее считалось, что от 35 до 75% общего выноса азота с дренируемых территорий приходится на минеральные удобрения. Исследования, проведенные с применением метода меченых атомов, позволили вычленивать в составе общих потерь долю почвенного азота и азота удобрений (Башкин, Кудеярова, 1981).

Так, Н.Кuntze (1980), приводя данные об источниках загрязнения природных вод в ФРГ, относит на минеральные удобрения лишь 10% общего загрязнения вод азотом.

Проведенные за рубежом и в нашей стране исследования подтверждают невозможность загрязнения грунтовых вод вследствие вымывания нитратов из почв, удобренных в дозах 120-180 кг/га по д.в. (Никитишин, 1979; Безлюдный и др., 1982; Karpenstein M., 1982; Salade et Nitrate, 1983).

Приближение срока внесения азота к моменту активного потребления его растениями сокращает потери азота на вымывание, повышает эффективность азотных удобрений и, таким образом, способствует охране вод от загрязнения.

Английские исследователи считают, что при внесении азотных удобрений в период активного роста растений весь поступающий азот используется растениями. Вымыванию подвергается азот, содержащийся в органическом веществе почвы. При условии своевременного внесения азотных удобрений связь между нормами внесения и размером вымывания азота не прослеживается (Башкин и др., 1980; Allen H.L., 1987).

Исследования последствий внесения удобрений в районе произрастания дугласии на западе штатов Вашингтон и Орегон, показали, что вскоре после внесения этих удобрений наблюдалось увеличение содержания азота в реках, но максимальные концентрации разных растворимых форм азота все же не приближаются к токсическим уровням. Растительность по берегам рек и различные речные организмы быстро потребляли азот, поступающий в лесные реки, причем в нижнем течении этих рек концентрация азота еще больше понижалась. В водораздельных лесах осторожное внесение удобрений (особенно, если избегать непосредственного

их попадания в реки при рассеивании с воздуха), очевидно, не представляет угрозы загрязнения воды, если вода, содержащая питательные вещества, поступает в реки путем инфильтрации (Спурр, Барнес, 1984).

Таким образом, при соблюдении правил, сроков и норм внесения минеральных удобрений в лесу загрязнения грунтовых вод не происходит. Этот вывод можно отнести и к почвам (Синькевич, 1984; Мельников, 1990, 1999; Люлькович, 2005).

Необходимо отдельно остановиться на экспериментах по применению комплексного ухода за лесом в древостоях разного состава средней тайги. Как уже отмечалось выше, такие опыты были заложены в Сиверском лесхозе Ленинградской области в 70-80-е гг. XX столетия в сосновых, еловых и лиственнично-еловых, а также сосново-еловых древостоях.

Наибольшее внимание исследователями было уделено лиственнично-еловым древостоям, прежде всего, по причине возможного их переформирования в чистые ельники. Это внимание акцентировано на уходе за смешанным лиственнично-еловым древостоем или за полностью осветленным рубкой еловым ярусом (Великотный, 1979, Сеннов, 1980, 1984, 1986; Мельников, 1998, 1999). Отмечается неэффективность применения удобрений в неразрезанных средневозрастных древостоях, в которых наблюдается непродуктивное разрастание кроновой фитомассы (Мельников, 1990, 1991, 1992).

Эксперименты показали, что сбалансированного и стабильного высокого прироста елового яруса можно ожидать в 35-40-летних древостоях с участием березы (лиственничных) в составе не более 2-3 единиц и густотой верхнего яруса около 150 деревьев на гектар, что согласуется и с прежними рекомендациями, ограничивающими примесь лиственничных в ельниках до 1-2 единиц (Ткаченко, 1952). На более поздних возрастных этапах эти параметры должны поддерживаться, густота верхнего яруса может снижаться. Вместе с тем, из-за опережающего роста ели последующее увеличение доли участия лиственничных в составе становится маловероятным, что делает ненужным регулирование их густоты при повторных приемах рубок. Расстояние между деревьями верхнего яруса должно быть не менее двойного радиуса их крон. В этом случае роль эдификатора переходит к ели и впоследствии, к возрасту главной рубки, можно будет получить высокопродуктивный древостой с высокими запасами еловой и березовой древесины (Великотный, 1979, Серяков, Ильюшенко, 1986; Мельников, 1999).

Если же лесовыращивание ориентируется на получение высококачественной хвойной продукции, то лиственничный ярус удаляется полностью на относительно ранних этапах, по крайней мере, в возрасте 40 лет.

Как правило, адаптация осветленного елового яруса проходит успешно, даже после резкого одноприемного удаления листовенных. При условии проведения двухприемной рубки в верхнем ярусе со вторым приемом запаздывать нельзя, поскольку это неотвратно ведет к снижению эффективности первого приема. Если есть необходимость проведения двухприемной рубки в верхнем ярусе (при его высокой исходной полноте – 0,7 и выше), то лучше повторить рубку через 5, самое большое – 10 лет (Мельников, 1999).

При этом реакция листовенно-еловых древостоев на удобрение проявляется в зависимости от их возраста (Мельников, 1990, 1999):

- в спелом древостое в первом десятилетии после внесения удобрения устойчивость деревьев в обоих ярусах повышается;
- в средневозрастном высокополнотном насаждении, наоборот, усиливается отпад.

Большое внимание уделено исследователями влиянию комплексного ухода на чистые еловые древостои. Данные многочисленных исследований подтверждают целесообразность его проведения в этих насаждениях (Мельников, 1986, 1988, 1989, 1990, 1992, 1999; Грязькин А. В., Мельников, 1985; Банева, 1986; Грязькин, 2001). Об этом свидетельствуют и первые результаты опытов с комплексным уходом в Сиверском лесхозе, проведенные 10 лет назад. Исследователями отмечается, что после внесения азотного удобрения прирост разреженного елового древостоя быстро повышается, достигая уровня контроля к концу первого десятилетия. Быстрее восстанавливаются запасы и общая производительность. Величина дополнительного прироста составила в ельнике черничном и кисличном 2,3 и 5,2 м<sup>3</sup>/га в год за первое десятилетие, или 16,7 и 37,7% от величины текущего прироста. В следующем десятилетии, после повторного приема комплексного ухода, дополнительный прирост составил в ельнике черничном 1,9 м<sup>3</sup>/га в год (18,4%), в ельнике кисличном – 2,8 м<sup>3</sup>/га в год (30,4%). Срок эффективного действия разовой дозы удобрения (150 кг/га по д.в.) равен 10-15 годам (Мельников, 1990, 1999).

Следует отметить, что эти данные были получены 10-15 лет назад, а новые результаты, соответственно, требуют подведения итогов уже следующего этапа последствия удобрений, примененных в системе комплексного ухода за лесом.

Не меньший интерес должны представлять и сосново-еловые древостои как весьма ценные и перспективные объекты интенсивного лесовыращивания. Однако данные о применении комплексного ухода в этих насаждениях единичны (Мельников, 1999). В то же время эксперименты с комплексным уходом в Сиверском лесхозе Ленинградской области показали, что в сосново-еловых древостоях удобрения повышают прирост сосны

на фоне некоторого снижения прироста ели. При этом результат оказывается выше там, где сосна доминирует в составе. Кроме того, удобрение стимулирует усиление отпада ели в 3-3,5 раза, тогда как отпад сосны существенно уменьшается. Эффект оказывается выше не только там, где сосна преобладает в составе, но и характеризуется большей густотой. Эти данные свидетельствуют об усилении межвидовой конкуренции в удобренном сосново-еловом древостое. Сосна оказывается более конкурентоспособной породой в освоении дополнительных ресурсов. Таким образом, сосна вводит ограничение на пользование дополнительными ресурсами для ели второго яруса и оказывается ее сильным конкурентом. Это необходимо иметь в виду при уходе за сосново-еловыми древостоями, ориентируясь при этом на выращивание смешанных древостоев с равным участием в составе сосны и ели. Если же возникнет необходимость добиться лучших результатов для ели, то доля сосны в общем составе должна быть снижена до 2-3 единиц и даже менее. Такая мера приведет к нарушению ценотической, популяционной целостности соснового яруса и резкому ослаблению его конкурентоспособности, что не может не отразиться на приросте ели. Темпы ее роста повысятся, увеличится продуктивность елового яруса, основная цель комплексного ухода будет достигнута при поддержании смешанного состава древостоя и сохранении ценной примеси сосны (Мельников, 1999).

Совсем мало изучено, на наш взгляд, влияние комплексного ухода на чистые сосновые древостои. Данные, которые имеются в литературе, малочисленны и достаточно противоречивы. Так по результатам исследований С.М. Синькевича (1984 г.) с помощью комплексного ухода в подзоне южной тайги можно получить дополнительный прирост от 2,1 до 2,8 м<sup>3</sup>/га. Однако уже через 10 лет, как отмечает Е.С. Мельников, эта величина может варьировать в сосняках южной тайги в пределах 0,3-5,7 м<sup>3</sup>/га (Мельников, 1999). При этом оба исследователя считают, что действие удобрений продолжается не менее 10 лет, т.е. совпадает со сроком действия удобрений в ельниках, а с этим вряд ли можно согласиться, так как сосна и ель характеризуются разными экологическими свойствами и стратегиями формирования и развития.

Таким образом, литературные источники свидетельствуют о высокой эффективности комплексного ухода за лесом. Регулярными разреживаниями обеспечивается формирование древостоев хозяйственно-необходимого состава, структуры и качества, удобрениями – ускоренное восстановление текущего прироста и запаса, повышение общей производительности этих древостоев. Следствием внесения азотных удобрений является также повышение биологической активности и уровня актуального плодородия почвы, что сопровождается интенсификацией биокругово-

рота элементов питания. Вследствие этого ускоряются восстановительные процессы не только в разреженном древостое, но и в фитоценозе, во всех его структурных звеньях.

Первые исследования связи технических свойств и качества древесины хвойных пород с анатомическим строением были проведены Р. Гартигом и его учениками (Германия) (Бюсген М., 1961; Angelstam P., 1998). Они пришли к выводу, что строение трахеид полностью объясняет колебания объемного веса древесины хвойных пород. Изменение плотности древесины хвойных с возрастом часто завуалировано различием плодородия почв, степенью сомкнутости крон и другими факторами. Низкое участие поздней древесины в годичном кольце приводит к меньшей плотности древесины (Бюсген М., 1961). Все мероприятия и условия, которые повышают долю поздней древесины, увеличивают ее качество. Также ими был сделан вывод, что условия произрастания хвойных пород и повышение плотности древесины зависит от почвенных условий – чем богаче почвы, тем выше плотность древесины. Отечественными лесоведами и древесиноведами (Вихров, 1965; Меле, 1974; Спурр С. Г., Барнес, 1984; Полубояринов, 1986; Рябоконт, 1990; Пшеничникова, 2008; Tuula Jyske, 2008), также в дальнейшем указывалось, что качество древесины и в частности ее плотность связаны с условиями произрастания и географическими факторами. О влиянии состава насаждения на строение древесины указывалось в работах Т.А. Мелеховой (1954, 1961); И.С. Мелехова (1972), В.Д. Ломова (1984); В.А. Корчагова и В.И. Мелехова (2009).

Совместное выращивание сосны с елью и формирование высокопродуктивных смешанных сосново-еловых древостоев оказывает положительное влияние на макростроение и плотность выращиваемых пород, дает высокую балансовую продуктивность данных насаждений (Юревич, 2004; Корнев, 2008).

Соотношение между степенью и характером разреживания древостоев и плотностью образующейся древесины представляет собой важный, но мало изученный аспект всей проблемы рубок ухода, поскольку с плотностью древесины связана производительность насаждения, определяемая по содержанию сухого вещества (Полубояринов, Федоров, 1984).

Получены противоречивые результаты по влиянию рубок ухода на плотность древесины хвойных пород в разных климатических условиях. По данным шведских исследователей плотность древесины ели снижается в большей степени, чем сосны после разреживания. В Соединенных Штатах в опытах с сосной ладанной не было установлено достоверных различий плотности древесины в разреженных и неразреженных древостоях. Гильдельбрант (Германия) отмечал, что условия местопроизрастания, определяют изменения плотности древесины в разреженных рубками ельни-

ках (Бюсген М., 1961). При более сильном разреживании в лучших условиях произрастания происходило снижение плотности древесины. В Финляндии Viro (1967) указывал на то, что снижение плотности древесины у хвойных пород после рубок проявлялось незначительно. В России также давно проводятся исследования по этому вопросу и так же полученные результаты различаются в зависимости от места и возраста изучаемых древостоев. После рубок ухода, без внесения удобрения по данным Р.П. Исаевой, Г.В. Курбатова и К.И. Шахова (1991), в условиях средней тайги, плотность древесины у ели возросла. У Т.А. Мелеховой (1961), исследовавшей разреженные ельники в Архангельской области, получены сходные результаты повышения плотности древесины. У А.Г. Чибисова (2004) в опытах по влиянию коридорного ухода в древостоях ели плотность древесины возросла на 20%. В своих исследованиях А.А. Смирнов (2004) также не выявил уменьшения плотности древесины после рубок ухода в ельниках Ленинградской области.

Однако рубки ухода иногда приводят к снижению плотности древесины. По данным А.В. Давыдова (1971), С.Н. Сеннова (1980) и других наблюдается снижение плотности древесины ели до 10% от контроля без рубок. Увеличение плотности древесины сосны после рубок ухода отмечали Е.В. Рябуха (1975), А.П. Сляднев (1972). Снижение плотности древесины сосны после разреживания наблюдали О.И. Полубояринов (1984, 1986), А.П. Рябоконт (1990), С.М. Синкевич (1981).

Влияние внесения удобрений и рубок ухода на плотность древесины рассматривалось в работах А.П. Сляднева (1972), И.С. Гелес (1984), О.И. Полубояринова (1984, 1986), А.П. Рябоконт (1990), А.А. Смирнова (2004), И.И. Степаненко (2008), С.А. Корчагова (2009) и др.

В зарубежных странах большое внимание исследованию плотности древесины уделяли Viro P.G. (1967), Mörling T. (2002), Lundgren C. (2003), Allen H.L. (1987) и др.

Анализ литературных источников показывает, что в зависимости от хвойной породы и природных условий, базисная плотность древесины, после применения различных вариантов и доз вносимого удобрения на фоне возросшего прироста имеет разные показатели. Вид вносимого удобрения в зависимости от основного элемента – азота, фосфора, калия или совместного их использования также в неодинаковой мере влияет на изменение плотности древесины хвойных пород. Опыты, проводимые в таежной зоне, показали, что применение азотно-фосфорных удобрений приводит к некоторому снижению плотности древесины сосны (Гелес, 1984; Корчагов, 2009; Степаненко, 2009), в то же время применение только азотных не выявило этой тенденции.

На осушенных почвах не происходит достоверного снижения плотности древесины после проходных рубок и внесения минеральных удобрений (Кистерная, 2007). Ряд исследователей наблюдают некоторое снижение плотности древесины хвойных после комплексного ухода (Синкевич, 1981; Вярбила, 1981; Коржицкий, 1985; Юревич, 2004).

Однако, как показал анализ последних литературных данных, за прошедшее время большинство отечественных исследователей (Полубояринов, 1976, 1984, 1986; Паршевников, 1983; Гелес, 1981; Бабич, 2008; Степаненко, 2009) у нас сходятся на том, что азотные удобрения и рубки увеличивают базисную плотность древесины хвойных пород или, по крайней мере, ее не снижают (Смирнов, 2007; Корчагов, 2009).

В зарубежных странах исследования по влиянию удобрений на базисную плотность древесины также показывают различные результаты Robert M., 1972; Zobel B.J., 1989; Mörling, T., 2002; Lundgren C., 2003; Vanclay J.K., 2003; Балоде В., 2004; Tuula Jyske, 2008; Laurence R., 2008). В целом, наблюдается тенденция роста базисной плотности древесины после комплексного ухода у хвойных пород, что подтверждается длительными исследованиями, в независимости от региона.

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно заключить, что в зависимости от породы, условий произрастания, режима ухода, формируется определенный тип структуры древесины. Строение древесины обуславливается факторами роста, питания и развития деревьев в условиях произрастания, характерных для них. Различия в строении древесины хвойных пород проявляется в границах, тех основных признаков, которые у конкретного вида закреплены генетически. В основном при этом меняются размеры элементов и соотношения тканей. Возникшие соотношения тканей и размер элементов нужны дереву для физиологических проявлений в различных условиях внешней среды.

Однако изменения в структуре древесины могут быть вызваны необеспеченностью пластическими веществами или необходимостью размещения на меньшей площади определенного количества водопроводящих элементов (Яценко-Хмелевский, 1954). Выпадение зоны поздней древесины связано не с отсутствием потребности дерева в механической ткани, а с невозможностью ее формирования в тех или иных условиях внешней среды лимитирующей прирост древесины. Поэтому изучение взаимосвязей условий среды, физиологических и анатомических изменений древесины хвойных пород и лесохозяйственных воздействий на них, приводящих к изменению плотности древесины, представляется необходимым.



## **ГЛАВА 2 ОБЩЕМЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УХОДА ЗА ЛЕСОМ В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ**

Лесной биогеоценоз является исключительно сложным объектом системных исследований, обладающим целым рядом свойств, в числе которых длительность развития древостоя; целостность; взаимосвязь компонентов; открытость; зависимость от внешних условий, например, от соседних участков или от погодных условий; структурно-функциональная сложность; динамичность; зависимость поведения от исторических причин. Поэтому изучение любого воздействия извне на лес должно осуществляться одновременно на организменном, популяционном, биоценоотическом и, в конечном счете, биогеоценоотическом, или системном уровне.

Свойствами лесной экосистемы объясняется и сложность методики исследований эффективности комплексного ухода за лесом, так как:

1) Эксперименты должны быть длительными. Нужно обеспечить преемственность. Для этого закладываются постоянные пробные площади в опытных лесничествах и лесхозах, на лесных опытных станциях.

2) Реакция лесного биогеоценоза на комплексный уход проявляется устойчиво, но направление реализации восстановительных функций носит вероятностный характер. Поэтому необходимо обеспечить как можно большее количество вариантов и повторностей опыта с последующей математической обработкой результатов, хотя это и достаточно сложно выполнить на практике.

3) Исследования должны быть системными, т.е. необходимо изучать взаимосвязи частей и целого, и, в то же время, комплексными, т.е. одновременно следует рассматривать влияние комплексного ухода на древесной, остальную растительность и почву. При этом не стоит забывать, что комплексный подход является всего лишь особой разновидностью системного, и использование первого отдельно от второго приводит к утрате в нем научного смысла. В таких случаях комплексные исследования сохраняют лишь обыденное содержание в виде стремления охватить как можно больше сторон, свойств, компонентов явлений.

До сих пор по многим вопросам теории и практики комплексного ухода за лесом существуют различные, иногда противоречивые, мнения. Объединить существующие методики и устранить возникающие при оценке хозяйственного эффекта от данного вида ухода противоречия может только такой метод исследования, при котором внимание акцентируется на целостности лесной экосистемы. Таким универсальным методом познавательной деятельности, применимым для оценки хозяйственного эффекта

от комплексного ухода за лесом, является системный подход (Берталанфи фон Л., 1969; Блауберг, Садовский, Юдин, 1969).

Системные исследования возникли как реакция на неспособность с помощью «традиционных» методов адекватно описать так называемые «большие системы», которым свойственно наличие большого числа элементов, многообразие связей между компонентами, а также причинно-следственных отношений вероятностного характера как внутри системы, так и в ее взаимодействии со средой. Непременным параметром больших систем выступают процессы управления и саморегуляции, а в наиболее сложных системах – самоорганизации (Рапопорт, 1969; Геодакян, 1970; Садовский, 1974; Уемов, 1978). Надорганизменным системам присуща динамичность, отсутствие жесткого программного развития, потенциальная «бессмертность» (Коган, Наумов, Режабек, Чораян, 1977). Системность является одним из атрибутов реальности и выступает в качестве одного из средств ее познания.

Для получения объективных результатов следует осуществлять исследования эффективности комплексного ухода за лесом в три взаимосвязанных этапа:

- а) этап накопления экспериментального материала;
- б) анализ и теоретическое осмысление накопленного экспериментального материала;
- в) использование результатов исследования на практике.

На каждом из этапов решаются свои, вполне определенные задачи.

На этапе накопления эмпирического материала первоначально разрозненные данные постепенно выстраиваются в определенную схему и дают начало формированию системы знаний о закономерностях построения и функционирования лесного биогеоценоза как одной из самых сложных природных систем. На этапе анализа и теоретического осмысления накопленного экспериментального материала исследования эффективности комплексного ухода за лесом имеют своей целью, прежде всего, анализ структурно-функциональных связей в лесной экосистеме. Поэтому их целесообразно проводить по двум направлениям: в первую очередь, изучая структуру (компоненты экосистемы, иерархию отношений между ними и слагающими их элементами), во вторую, - функциональные проявления в экосистеме (например, через биокруговорот, его звенья, выявление роли отдельных компонентов).

Рассматривая структурно-функциональные особенности и историю развития лесного биогеоценоза, прежде всего, необходимо уделять внимание пространственной организации растительных сообществ. Характер пространственного расположения элементов в системе может служить признаком упорядоченности, с одной стороны, неустойчивости, с другой

(Рапопорт, 1969). Первое характерно для взрослой части популяции, второе – для молодняка (Тимофеев-Ресовский, Яблоков, Глотов, 1973). Данное положение относится и к фитоценозам, последовательно проходящим в своем развитии разные этапы развития: от формирования молодняков до распада древостоя. Можно допустить, что именно для последнего характерен максимум упорядоченности в системе, тогда как в молодом возрасте наблюдается ее относительный минимум (Мельников, 1999). Такое предположение подтверждается и при анализе изменения структуры древостоя. Здесь наблюдается последовательное, с течением времени, изменение характера размещения деревьев на площади: от группового к равномерному (Грейг-Смит П., 1967; Сеннов, 1993). При этом на разных этапах развития проявляется действие механизмов, организующих сообщество, поддерживающих его устойчивость и сохраняющих его способность к развитию. На каждом возрастном этапе фитоценозу присущи свои функциональные особенности, а организация системы соответствует этим функциям (Мельников, 1999).

Изучая влияние комплексного ухода на устойчивость лесной экосистемы, следует учитывать, что уровни организации живого вещества в этой системе различны, поэтому необходимо четко разделять информацию, полученную на уровне сообщества, популяции или организма.

Для каждого из этих уровней организации характерна, с одной стороны, определенная степень самостоятельности, с другой, зависимость от факторов внешней и внутренней среды, структурных уровней более высокого или низкого порядка. С первым свойством связано стремление системы к развитию, со вторым – поддержание устойчивости и сохранение целостности экосистемы более высокого порядка. Результирующей проявлением и того, и другого свойства становится стабильно устойчивое состояние не только экосистемы, но и тех компонентов, которые включены в нее (Мельников, 1999). Применение комплексного ухода за лесом изменяет баланс между этими составляющими, что неизбежно приводит к выходу и компонентов, и системы из состояния подвижного устойчивого равновесия. При этом удобрение, вносимое в лесную экосистему, организуется последней как вид дополнительной энергии. Соответственно, оно поддерживает и даже укрепляет структуру системы, хотя и вызывает в ней определенные изменения. Опыты показывают, что удобрения, как правило, очень быстро включаются в систему посредством биокруговорота, интенсифицируют восстановительные процессы, укрепляют структуру и повышают устойчивость фитоценозов. При этом удобрения, в первую очередь, укрепляют наиболее важные звенья структуры, реализуясь в тех функциях системы, которые оказываются наиболее необходимыми и актуальными на конкретном этапе ее развития. В результате создаются условия для повы-

шения продуктивности фитоценоза, которая является критерием оценки изменений в экосистеме, поскольку реализация потенциальной продуктивности в конкретных лесорастительных условиях является важнейшей функцией любой лесной экосистемы. Такой критерий может быть применен не только к фитоценозу в целом, но и к любому из его компонентов. На следующем этапе, по мере восстановления нарушенных функций, вновь усиливается воздействие на систему сдерживающих факторов внешнего и внутреннего порядка. Происходит возврат к «норме», хотя уже на несколько ином уровне функционирования и с измененной структурой. Такое положение характерно практически для всех ярусов лесной растительности и фитоценоза в целом, которые изучались в экспериментах с рубками и удобрениями (Мельников, 1999).

На основании результатов, полученных на первом и втором этапе исследования, мы сможем дать практические рекомендации, связанные, прежде всего, с регламентацией комплексного ухода за лесом.

Режим данного лесохозяйственного мероприятия, с одной стороны, должен быть нацелен на получение максимального экономического эффекта, а, с другой стороны, ни в коем случае не явиться причиной разрушения естественной лесной экосистемы. Комплексный уход за лесом не наносит вреда лесному биогеоценозу, если его состояние после применение данного хозяйственного мероприятия отвечает следующим основным требованиям (Шварц, 1976):

1) Высокая продуктивность, обеспечивающая быструю компенсацию возможных потерь на отдельных уровнях пищевой сети в результате флуктуаций или преднамеренных воздействий.

2) Устойчивость биогеоценоза на широком диапазоне внешних воздействий, гомеостаз всех компонентов, включая атмосферу с ее характерным газовым составом и почву с ее гидрологическим режимом.

3) Большая скорость биологического круговорота веществ, обеспечивающая вовлечение в круговорот наибольшего количества вещества в течение минимального числа годовых циклов и самоочищение биогеоценоза.

4) Способность к быстрой перестройке структуры биоценоза и эволюционному преобразованию популяций доминантов, что обеспечивает функционирование биогеоценоза при изменении внешних условий.

Таким образом, системный подход и знание свойств лесного биогеоценоза помогут выявить наиболее характерные закономерности его развития, определить структуру и главные направления исследования, осуществить синтез разрозненных данных и, соответственно, дать рекомендации по применению более корректных и дифференцированных мер хозяйственного воздействия на лес.

## ГЛАВА 3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1 Программа исследования

При составлении программы исследования основное внимание уделено тем вопросам, решение которых позволит дать сравнительную комплексную оценку структурных и функциональных изменений в хвойных лесных фитоценозах под воздействием регулярных рубок ухода и комплексного ухода; выявить общие тенденции и биолого-экологические различия в реакции сосны и ели на рубки ухода и комплексный уход; установить закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов». Благодаря информации, которая получена на опытных объектах более чем за 40-летний период, становится возможным по-новому оценить сложившуюся систему рубок ухода и комплексного ухода и скорректировать программы формирования и выращивания высокопродуктивных сосновых и еловых насаждений разного целевого назначения с учетом их биолого-экологических особенностей (Атрохин, 1967).

Программа исследования включает следующие вопросы:

- 1) Дать сравнительную оценку влияния рубок ухода и комплексного ухода на рост и продуктивность сосновых и еловых древостоев.
- 2) Выявить параметры устойчивости насаждений под влиянием рубок ухода и комплексного ухода.
- 3) Выявить структурные и функциональные изменения в сосняках и ельниках под воздействием рубок ухода и комплексного ухода.
- 4) Оценить воздействие рубок ухода и комплексного ухода на видовое разнообразие напочвенной растительности в сосновых и еловых древостоях.
- 5) Выявить закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под влиянием рубок ухода и комплексного ухода за лесом.
- 6) Установить зависимость таксационных показателей от погодных условий.
- 7) Изучить структурные изменения в строении древесины хвойных пород на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом.
- 8) Изучить показатели плотности и анатомического строения древесины хвойных пород на объектах ухода за лесом.
- 9) Дать рекомендации по оптимизации режима рубок ухода и комплексного ухода в сосновых, еловых и сосново-еловых древостоях.

Блок-схема научного исследования приведена на рис. 1.



**Рис.1.** Блок-схема научного исследования

### 3.2 Методика исследования

Исследования осуществлялись на постоянных пробных площадях. Применялся сравнительный анализ данных, полученных в разных вариантах опыта (Давыдов, 1971; Сеннов, 1978).

*1. Влияние рубок ухода и комплексного ухода на рост и продуктивность сосновых и еловых древостоев.*

Древостой играет основную, эдификаторную роль в формировании внутренней среды и структуры лесного биогеоценоза. От реакции древостоя на рубки ухода и комплексный уход во многом зависит характер развития других ярусов растительности и биогеоценоза в целом. Анализ структурных и функциональных изменений, вызванных в древостое разреживаниями и действием удобрений, позволяет изучить восстановительные реакции, особенности распределения дополнительных ресурсов в фитоценозе и во многом объяснить реакцию на уход со стороны других его компонентов. Непосредственное наблюдение за ходом роста древостоя дает возможность прогнозировать изменение его продуктивности и товарной структуры, что является необходимым условием для расчета программ рубок ухода и комплексного ухода за лесом.

В рамках данного вопроса изучались: величина дополнительного прироста древостоев; общая производительность и продуктивность древостоев.

1.1. Расчету величины дополнительного прироста древостоя предшествовало определение его текущего прироста. Применялся метод сплошных перечетов на постоянных пробных площадях, традиционный для исследовательских работ на данных объектах (Давыдов, 1971; Сеннов, 1977). Период повторности таксации – 5 лет. Замер диаметров деревьев осуществлялся с точностью до 1 мм металлической мерной вилкой в двух взаимоперпендикулярных направлениях на высоте 1,3 м от шейки корня. В каждой ступени толщины (по породам) с помощью высотомера измеряли высоту не менее 5 деревьев. Полученные данные выравнивались графически и использовались для определения разрядов высот по ступеням толщины. Запасы вычисляли по таблицам высот и объемов стволов (в коре) для древостоев Ленинградской, Архангельской и Вологодской областей (Третьяков, Горский, Самойлович, 1952). Точность определения запасов – около 3% (Сеннов, 1977). Расчет текущего прироста выполнялся в соответствии с ГОСТ 18264-72.

1.2. Дополнительный прирост при одинаковых исходных запасах определялся как разница между накопленными запасами древостоев после комплексного ухода за лесом и разреженного без применения удобрений.

1.3. Общая производительность древостоев определялась как сум-

марный запас стволовой древесины с учетом отпада и древесины, вырубленной при рубках ухода.

1.4. Продуктивность древостоя определялась как суммарный запас стволовой древесины с учетом древесины от рубок ухода.

2. Для выявления параметров устойчивости сосновых и еловых насаждений под воздействием рубок ухода и комплексного ухода анализировались:

- интенсивность восстановления текущего прироста после рубок ухода и комплексного ухода за лесом;
- величина и структура отпада;
- соотношение величин текущего прироста и отпада.

Эти данные дают возможность судить о характере и напряженности конкурентных отношений в древостое, его устойчивости и, соответственно, успешности того или иного хозяйственного воздействия. Точность определения величины отпада не превышает  $\pm 3\%$ .

3. Выявление структурных и функциональных изменений в сосняках и ельниках под воздействием рубок ухода и комплексного ухода.

3.1. Структурные изменения в древостое.

Выявление структурных изменений в сосновых и еловых древостоях под воздействием рубок ухода и комплексного ухода осуществлялось при анализе рядов распределения деревьев по ступеням толщины. Эти данные позволяют определить пути реализации дополнительных ресурсов (удобрений) в древостое, выявить механизмы их закрепления и вовлечения в биокруговорот, уточнить исчисляемый обычным (таксационным) методом эффект от рубок ухода и комплексного ухода, а также выявить внутриструктурные изменения в древостое, являющиеся результатом восстановительных реакций и реализации ресурсосберегающей функции в ценозе.

3.2. Изменения в структуре нижних ярусов растительности и воздействие рубок ухода и комплексного ухода на видовое разнообразие лесных фитоценозов.

Наблюдение за развитием подлеска и живого напочвенного покрова, а также ходом естественного лесовозобновления под пологом разреженных и удобренных древостоев позволяет глубже понять роль этих компонентов в восстановительных реакциях фитоценоза, сохранении его устойчивости и повышении продуктивности, интенсификации биокруговорота. Появляется возможность проследить пути реализации дополнительных ресурсов (удобрений) в фитоценозе, наблюдать, как изменяется характер сукцессии. Все это позволяет получить информацию, необходимую для прогнозирования результатов рубок ухода и комплексного ухода, включая заключительные этапы лесовыращивания. В результате расширяется база объективных данных, которые должны приниматься во внимание при кор-



ректировке режима ухода за лесом.

3.2.1. При изучении влияния рубок ухода и комплексного ухода на видовой состав и структуру живого напочвенного покрова основное внимание уделялось определению видового разнообразия и проективного покрытия. Применялась общепринятая методика учета растений на однометровых учетных площадках (Гришина, Самойлова, 1971; Базилевич, Титлянова, Смирнов и др., 1978; Карпачевский, Воронин, Дмитриев и др., 1984). Площадки закладывались на трансектах с расчетом их максимально равномерного размещения на пробной площади. На каждой площади учетные работы производили на 20 площадках. Определяли степень проективного покрытия по видам на средней площадке и пробной площади в целом. Простым суммированием показателей по всем видам (отдельно для травяно-кустарничкового и мохового ярусов) определяли суммарное проективное покрытие растительности живого напочвенного покрова.

3.2.2. Учет подроста осуществлялся на 10-метровых круговых площадках, закладываемых на трансектах равномерно по площади. Количество площадок варьировало от 40 до 60 штук в зависимости от размера пробной площади (Грязькин, 2001). Вычислялись средние показатели густоты подроста на учетную площадку с последующим переводом на всю пробную площадь.

3.2.3. Подлесок учитывался на тех же учетных круговых площадках, что и подрост.

4. *Выявление закономерностей изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под влиянием рубок ухода и комплексного ухода за лесом.* Информация, полученная в ходе проработки предыдущих программных вопросов, явилась фактической основой для теоретических обобщений по данному вопросу.

5. *Уточнение режима комплексного ухода в сосновых и еловых древостоях.*

5.1. При рассмотрении данного вопроса основная задача заключалась в корректировке ранее составленных целевых программ комплексного ухода за лесом с учетом биолого-экологических различий в реакции сосны и ели на комплексный уход.

В процессе исследования выполнен следующий объем работ: периодически проводилась повторная таксация на 13 пробных площадях; выполнен учет живого напочвенного покрова на 5 пробных площадях; выполнен учет подроста и подлеска на 14 пробных площадях; проведена камеральная обработка данных; получены математические модели, отражающие зависимость таксационных показателей от погодных условий; изучены структурные изменения в строении древесины, показатели плотности и анатомического строения хвойных пород на 10 пробных площадях.

### 3.3 Объекты исследования

Объектами исследования являются чистые средневозрастные сосновые и еловые насаждения разных классов бонитета и типов леса (табл. 1).

Таблица 1

#### Краткая характеристика постоянных пробных площадей

№ пробной площади Вариант опыта	Площадь, га	Год закладки Год последней таксации	Состав древостоя при закладке ПП Состав древостоя при последней таксации	Класс бонитета при закладке ПП Класс бонитета при последней таксации	Тип леса	Наименование почвы
1	2	3	4	5	6	7
Еловые древостои						
<u>10-1</u> контроль	0,15	<u>1974</u> 2003	<u>8Е1Б1Ос+С</u> <u>7Е<sub>78</sub>1С1Б1Ос</u>	<u>Ш</u> <u>П</u>	Е чер.	Влажно-грубогумусная сильноподзолистая суглинистая на пылеватых покровных суглинках
<u>10-2</u> двукратная рубка (1974, 1983 гг.)	0,19	<u>1974</u> 2003	<u>10Е ед. С, Б, Ос</u> <u>10Е<sub>78</sub></u>	<u>П</u> <u>І</u>	Е чер.	
<u>10-3</u> двукратная рубка (1974, 1983 гг.) + трехкратное удобрение (1974, 1979, 1986 гг.)	0,23	<u>1974</u> 2003	<u>8Е1С1Б+Ос</u> <u>10Е<sub>78</sub></u>	<u>П</u> <u>І</u>	Е чер.	
<u>11-1</u> контроль	0,05	<u>1973</u> 2004	<u>9Е1Б</u> <u>8Е<sub>67</sub>2Б</u>	<u>Іа</u> <u>Іа</u>	Е кис.	Модергумусная слабоподзолистая супесчаная на моренных валунных средних суглинках
<u>11-2</u> трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.)	0,05	<u>1973</u> 2004	<u>9Е1Б</u> <u>7Е<sub>67</sub>3Б</u>	<u>Іа</u> <u>Іа</u>	Е кис.	
<u>11-3</u> трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.) + двукратное удобрение (1973, 1983 гг.)	0,05	<u>1973</u> 2004	<u>9Е1Б</u> <u>9Е<sub>67</sub>1Б</u>	<u>Іа</u> <u>Іа</u>	Е кис.	

Примечание. Наименование почвы приводится по отчетам лаборатории почвоведения ЛенНИИЛХа (1985 г.).

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Сосновые древостои						
<u>5-1</u> контроль	0,20	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>79</sub> ед.Е <sub>35</sub>	<u>I</u> I	С чер. вл.	Торфяни- сто- грубогу- мусный и торфяни- сто- перегной- ный желе- зисто-ил- лювиаль- ный песча- ный подзол на морен- ных валун- ных суг- линках
<u>5-2</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	0,20	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б, Ос</u> 10С <sub>79</sub> ед.Е <sub>35</sub>	<u>I</u> I	С чер. вл.	
<u>5-3</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + дву- кратное удобрение (1972, 1982 гг.)	0,20	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б, Е</u> 9С <sub>79</sub> 1Е <sub>35</sub>	<u>I</u> I	С чер. вл.	
<u>6-3</u> контроль	0,20	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>66</sub>	<u>I</u> I	С бр.	Грубогу- мусный же- лезисто- иллюви- альный песчаный подзол на ледниково- озерных сортиро- ванных песках
<u>6-2</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	0,20	<u>1971</u> 2005	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>66</sub>	<u>I</u> I	С бр.	
<u>6-6</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + дву- кратное удобрение (1972, 1982 гг.)	0,20	<u>1971</u> 2005	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>70</sub>	<u>I</u> Ia	С бр.	
<u>6-9</u> рубка (1971 г.)	0,2	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>70</sub>	<u>I</u> Ia	С бр.	
<u>6-5</u> рубка (1971 г.) + трехкрат- ное удобрение (1972, 1977, 1982 гг.)	0,20	<u>1971</u> 2002	<u>10С ед. Б</u> 10С <sub>70</sub>	<u>I</u> I	С бр.	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
<u>12-1</u> контроль	0,20	<u>1976</u> 2005	<u>10С+Б. ед.Е</u> 10С+Б. ед.Е	<u>II</u> I	С чер. вл.	Торфяни- сто- грубогу- мусный же- лезисто- иллюви- альный песчаный подзол на моренных валунных суглинках
<u>12-2</u> рубка (1973 г.)	0,20	<u>1976</u> 2005	<u>10С ед. Б, Е</u> 10С <sub>78</sub>	<u>II</u> I	С чер. вл.	
<u>12-3</u> рубка (1973 г.) + двукратное удобрение (1974, 1977 гг.)	0,20	<u>1976</u> 2005	<u>10С ед. Б, Е</u> 10С <sub>78</sub>	<u>II</u> I	С чер. вл.	
Сосново-еловые древостои						
<u>18-1</u> контроль	0,20	<u>1987</u> 2009	<u>5,4С4Е0,2Б0,4Ос</u> 5,2Е4,6С0,1Б0,1Ос	<u>II</u> I	С чер. св.	Влажно- грубогу- мусная сильнопод- золистая суглини- стая на пы- леватых покровных суглинках
<u>18-2</u> (рубка – 15%; удобрение – Р/Н (1984; 1986 гг.)	0,20	<u>1987</u> 2009	<u>5,4Е4,3С0,1Б0,2Ос</u> 5Е4,7С0,1Б0,2Ос	<u>II</u> I	С чер. св.	
<u>18-3</u> (рубка – 15%; удобрение – Р/Н (1984; 1986 гг.)	0,25	<u>1987</u> 2009	<u>4,9С4,7Е0,4Ос.ед.Б</u> 5С4,2Е0,6Ос0,2Б	<u>II</u> I	С чер. св.	

Примечания:

1. Сосновые пробные площади: ПП серии 5 – Дивенское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.103; ПП серии 6 – Орлинское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.20 (ПП 6-5, 6-6, 6-9), кв.33 (ПП 6-2, 6-3); ПП серии 12 – Дружносельское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.8.

2. Еловые пробные площади: ПП серии 10 – Онцевское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.19; ПП серии 11 – Карташевское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.23.

3. Сосново-еловые пробные площади: ПП серии 18 – Онцевское участковое лесничество Гатчинского лесничества, кв.6; в числителе – показатели сосновой части древостоя; в знаменателе – показатели еловой части древостоя, возраст на 2009 г. - сосна – 90 лет, ель – 80 лет.

Постоянные пробные площади, заложенные в 1970-х гг. сотрудниками лаборатории лесоводства СПбНИИЛХа (быв. ЛенНИИЛХ) под руководством проф. Сеннова С.Н., расположены на территории опытного лесного хозяйства «Сиверский лес» в Ленинградской области. Во всех случаях выделялись контрольные, разреженные рубками ухода, разреженные и удоб-

ренные варианты пробных площадей. Динамика их таксационных показателей приводится в приложениях 1-5.

Территория лесной станции располагается на рубеже Ордовикского (Ижорского) плато и Ильменско-Ладожской низменности в 70 км к югу от Санкт-Петербурга, относится к подзоне средней тайги и характеризуется равнинным рельефом со слабо выраженными повышениями и понижениями местности. Наибольшая высота над уровнем моря достигает 90 м.

Основные лесообразующие породы – ель, сосна, береза и осина. Средний класс бонитета по хозяйству II, что положительно характеризует природные условия территории. Опытные объекты представлены высокопродуктивными насаждениями I<sup>a</sup>-I класса бонитета, произрастающими на дренированных слабоподзолистых почвах. Исключением являются пробные площади серии 10, заложенные в менее производительном ельнике черничном II-III класса бонитета. В отличие от других объектов эта площадь выделяется тяжелым механическим составом почвы, худшими условиями ее дренированности, что является причиной формирования грубого гумуса и сильной оподзоленности. Для некоторых сосняков характерны признаки периодического переувлажнения почв (ПП серий 5 и 12).

Основными почвообразующими породами являются четвертичные моренные, водно-ледниковые и озерно-ледниковые осадки, подстилаемые девонскими песчаниками и песками.

Как правило, почвы характеризуются кислой реакцией. Содержание валового азота в почве находится на низком или среднем уровне обеспеченности, резкое содержание азота в дренированных лесных почвах оказывается тем фактором, который в первую очередь лимитирует рост древостоев. Все это создает предпосылки для обоснованного применения азотных удобрений в лесу. На слабодренированных почвах внесению удобрений должно обязательно предшествовать осушение. Нет оснований, бояться прогрессирующего закисления почвы в результате регулярного применения азотных удобрений, которого в лесу обычно не наблюдается (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). Часть почв испытала в прошлом заметное воздействие со стороны человека и вышла из сельскохозяйственного пользования, что, в целом, характерно для многих кисличников Северо-Запада (Лебедев, 1977).

На территории Ленинградской области формируется климат, переходящий от континентального к морскому, с умеренно-теплым летом, довольно продолжительной умеренно-холодной зимой и неустойчивым режимом погоды. Среднесуточная температура за год – +3,5°C. Средняя годовая облачность равна 75%. Число ясных дней в году колеблется от 60 до 75 дней. Пасмурных дней около 180. Продолжительность вегетационного периода – 120-130 дней. Среднее годовое количество осадков – 616 мм.

Число дней с осадками колеблется от 180 до 205 дней. Среднее количество дней со снежным покровом от начала его появления до окончательного схода около 150 дней. Глубина промерзания почвы колеблется от 0,5 до 1,5 м. Господствующими ветрами являются ветры юго-западного, западного и южного направлений.

Исследования лаборатории почвоведения ЛенНИИЛХа (Чертов и др., 1981) показали, что в условиях Сиверского лесхоза на дренированных почвах уже в июне уровень грунтовых вод опускается ниже 40 см. В этом же месяце в недостаточно дренированных почвах верховодка держится на уровне 20-30 см (серия 10), что ограничивает развитие корневых систем. В дренированных почвах запас влаги в 18-сантиметровом слое составляет 61-72 мм. Минимальное содержание влаги отмечается в июле-августе и составляет 40-50 мм. В засушливый летний период дефицит влаги в почве может лимитировать развитие и продуктивность растений. В целом же, район, в пределах которого расположены опытные объекты, характеризуется благоприятными для внесения удобрений почвенно-климатическими условиями. Считается, что в западных районах нечерноземной зоны повышенная эффективность азотных удобрений отмечается 7-8 лет из 10 (в сельском хозяйстве). Невысокая эффективность удобрений наблюдается только в 5% случаев, что связывают с крайне неблагоприятными погодными условиями – засухой или избыточным выпадением осадков в течение вегетационного периода (Федосеев, 1985).

При определении типов леса пользовались лесотипологической схемой, применяющейся в лесоустройстве и основанной на эдафифитоценотической классификации В.Н. Сукачева. Указанная классификация применяется для идентификации типов леса на пробных площадях на протяжении длительного периода.

Рубки ухода – поздние прореживания или ранние проходные, проводили по соответствующим правилам. Рубка с интенсивностью по запасу до 10% считается очень слабой; 11-20% слабой, 21-30% - умеренной, 31-40% - умеренно-сильной, 41-50% - сильной и свыше 50% - очень сильной (Наставление по рубкам ухода, 1994). В качестве удобрения применяли гранулированную мочевины (карбамид), которую разбрасывали вручную по поверхности почвы в ближайший вегетационный период после разреживания древостоя в мае-начале июня в дозе 150 кг/га азота по д.в. за один прием. Повторяемость внесения удобрения – двух- или трехкратная с интервалом в 5 и 10 лет.

На пробной площади серии 18 после проходной рубки небольшой интенсивности (15%) вносили суперфосфат с помощью МВУ-1 в дозе 100 кг/га по действующему веществу (д.в.), а спустя два года вручную разбрасывали аммиачную селитру в дозе 150 кг/га азота по д.в.

# ГЛАВА 4 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ СОСНОВЫХ И ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

## 4.1 Продуктивность древостоя

Для сосняков и ельников разного возраста и лесотипологической принадлежности характерны как общие тенденции, так и различия в реакции на регулярный комплексный уход. Общие тенденции позволяют установить закономерности функционирования хвойных лесных фитоценозов, выработать требования к режиму и определить задачи данной системы ухода. В то же время различия, выявленные в процессе экспериментов и обусловленные разнообразием лесорастительных условий, таксационных характеристик и биолого-экологическими свойствами пород, дают возможность более корректного назначения ухода за лесом, при котором учитывается специфика объекта.

Древостой является основным компонентом, продуцентом, доминантом и эдификатором фитоценоза. В соответствии с этим он выполняет следующие функции:

- 1) Транспорт ресурсов.
- 2) Распределение ресурсов в лесной экосистеме, включая и те из них, которые поступают туда в виде удобрений.
- 3) Накопление ресурсов (древостоем синтезируется основная масса органического вещества).

Два первых аспекта позволяют дать экологическое обоснование использования комплексного ухода за лесом и касаются такой важной проблемы, какой является устойчивость лесных фитоценозов.

Изучение последнего аспекта дает выход на экономическую оценку эффективности данного мероприятия, связанную, прежде всего, с определением дополнительного прироста и общей производительности и позволяет ответить на вопросы:

- 1) Повышает ли комплексный уход продуктивность древостоя, и является ли дополнительный прирост адекватным показателем такого повышения?
- 2) За счет чего формируется и от каких факторов зависит дополнительный прирост?

### 4.1.1 Дополнительный прирост: величина, динамика, время формирования

В соответствии с программой исследований на опытных объектах детально анализировалась динамика дополнительного прироста древостоев (табл.2).

Таблица 2

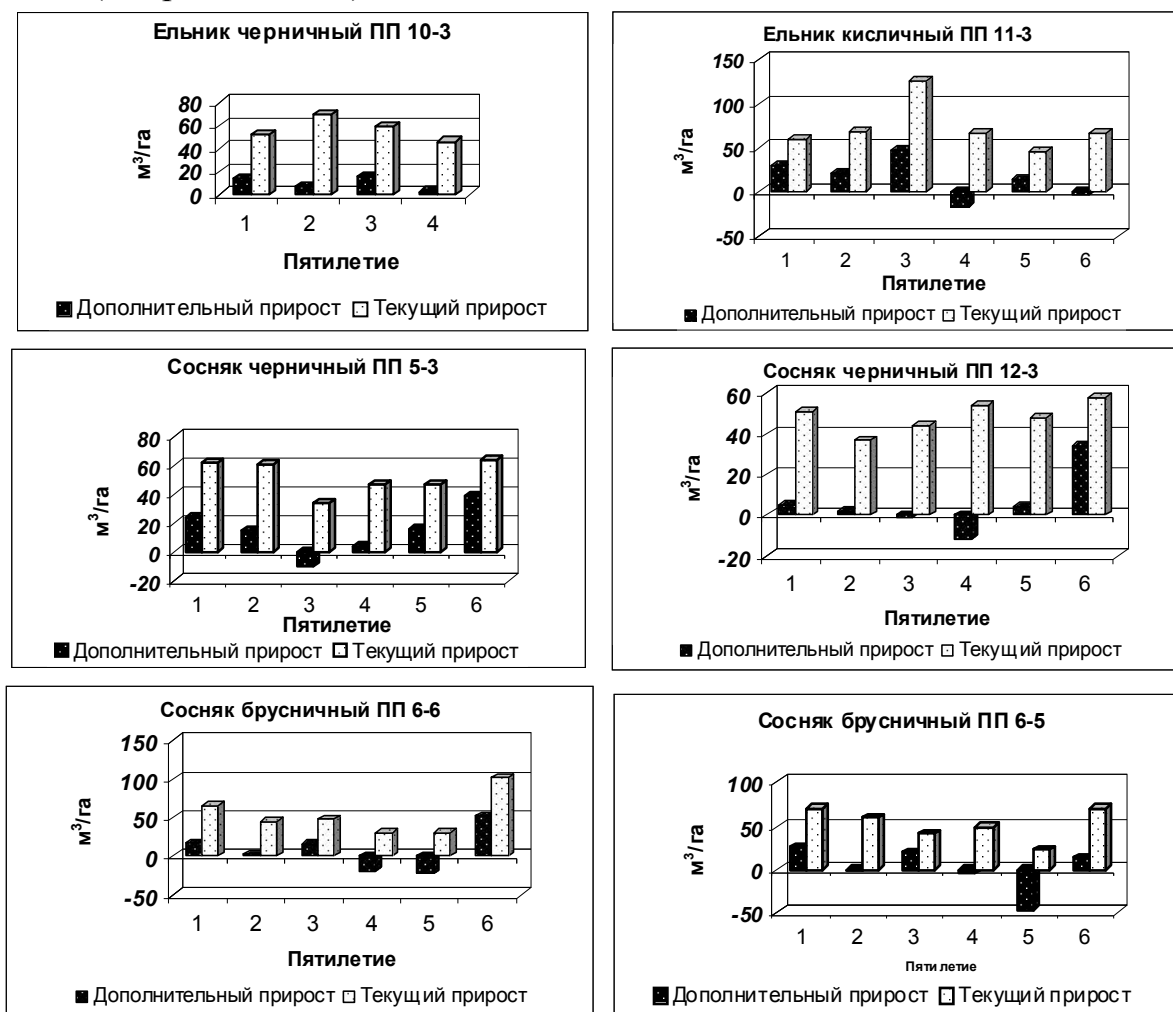
#### Дополнительный прирост в еловых и сосновых древостоях после рубок ухода и комплексного ухода за лесом

№ пробной площади Вариант опыта	Пятилетие	Дополнительный прирост		Текущий прирост		Процент дополнительного прироста от текущего
		м <sup>3</sup> /га	м <sup>3</sup> /га в год	м <sup>3</sup> /га	м <sup>3</sup> /га в год	
<u>10-3</u> 1974 г. – Р (30%)+У, 1979 г. – У, 1983 г. - Р (23%)+У	1	14	2,8	52	10,4	26,9
	2	7	1,4	69	13,8	10,1
	3	16	3,2	59	11,8	27,1
	4	3	0,6	46	9,2	6,5
<u>11-3</u> 1973 г. – Р (24%)+У, 1983 г. – Р (8%)+У, 1993 г.- Р (16%)	1	30	6,0	60	12,0	50,0
	2	22	4,4	69	13,8	31,9
	3	47	9,4	126	25,2	37,3
	4	-17	-3,4	67	13,4	-
	5	14	2,8	46	9,2	30,4
	6	-3	-0,4	67	9,6	-
<u>5-3</u> 1971 г. – Р (34%)+У, 1981 г. – Р (14%)+У	1	24	4,8	62	12,4	38,7
	2	15	3,0	61	12,2	24,6
	3	-10	-2,0	34	6,8	-
	4	4	0,8	47	9,4	8,5
	5	16	3,2	47	9,4	34,0
	6	39	6,5	64	10,6	61,3
<u>12-3</u> 1973 г. – Р (31%)+У, 1977 г. - У	1	5	1,0	51	10,2	9,8
	2	2	0,4	37	9,2	4,3
	3	-1	-0,2	44	8,8	-
	4	-12	-2,4	54	10,8	-
	5	4	0,8	48	8,0	10,0
	6	34	5,7	58,8	9,8	58
<u>6-6</u> 1971 г. – Р (27%)+У, 1981 г. – Р (10%)+У	1	17	3,4	65	13,0	26,2
	2	2	0,4	45	9,0	4,4
	3	16	3,2	48	9,6	33,3
	4	-19	-3,8	30	6,0	-
	5	-23	-4,6	30	6,0	-
	6	52	10,4	102	11,3	51,0
<u>6-5</u> 1971 г. – Р (32%)+У 1977 г. - У, 1982 г. - У	1	25	5,0	70	14,0	35,7
	2	-3	-0,6	59	11,8	-
	3	19	3,8	41	8,2	46,3
	4	-5	-1,0	48	9,6	-
	5	-48	-9,6	22	4,4	-
	6	13	2,6	71	14,2	18,3

Примечание: Р – рубка ухода; У – внесение удобрения.



Проанализируем реакцию **ельников** на комплексный уход (рис.2). В **первое пятилетие** величина дополнительного прироста, определенная путем сравнения изменения запасов разреженных с удобрением и без удобрения древостоев, составила в ельнике черничном и кисличном соответственно 2,8 и 6,0 м<sup>3</sup>/га в год или 26,9 и 50,0% от величины текущего прироста (табл.2). Объясняется это тем, что азотные удобрения в первые годы после внесения стимулируют биологическую активность почвы (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). Благодаря этому происходит активное высвобождение почвенных ресурсов, прирост древостоя быстро повышается, интенсивно развивается напочвенная растительность (см. раздел 5.1.2).



**Рис.2.** Дополнительный и текущий прирост в сосняках и ельниках после рубок ухода и комплексного ухода

В **последующем пятилетии** и в ельнике черничном, и в кисличном на фоне повышенного дополнительного прироста наблюдалось постепенное его снижение (в 2 и в 1,4 раза соответственно). Снижение прироста отмечалось как в черничнике, где удобрения вносились повторно, так и в

кисличнике, где удобрения не вносили. Подобная реакция древостоя указывает на замедленное пользование доступными ресурсами и объясняется следующими причинами:

1) В почве происходит «связывание» подвижного азота микроорганизмами (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005), и соответственно – «консервация» элементов питания.

2) Внесенное удобрение способствует развитию живого напочвенного покрова (ЖНП) и повышению его продуктивности. За счёт напочвенной растительности активизируется малый биокруговорот, связывающий часть высвобождающихся ресурсов (см. раздел 5.1.2).

3) Важную ресурсосберегающую роль выполняет сам древостой, в котором происходят соответствующие изменения в соотношении между кроновой, подземной и стволовой фитомассой (Мельников, 1999). В результате действия удобрения усиленно развивается ассимиляционный аппарат (кроновая фитомасса) (Мельников, 1999) и масса активных корней (подземная фитомасса) (Банева, 1985). Такая структурная перестройка в древостое сопровождается неизбежными энергетическими и ресурсными затратами.

4) Структурные перестройки затрагивают и сам древостой, где происходит перераспределение прироста между деревьями разных ранговых групп, а в смешанных насаждениях – и пород (Синькевич, 1993; Мельников, 1999).

Таким образом, затраты на структурные перестройки в древостое, усиленное развитие напочвенной растительности и резервирование части ресурсов в ризосфере приводят к снижению дополнительного прироста. Но именно таким путем реализуется ресурсосберегающая функция лесной экосистемы.

Однако, реакция биогеоценоза, в свою очередь, направлена не только на удержание и резервирование этих ресурсов, но и на дальнейшее их использование в биокруговороте. Благодаря этому со временем происходит постепенное вовлечение сохраненных ресурсов в продукционный процесс с последующим увеличением дополнительного прироста, что и наблюдается **в следующем пятилетии**. После того, как удобрения были внесены в последний раз, дополнительный прирост составил в ельнике черничном 3,2 м<sup>3</sup>/га в год (27,1%), в ельнике кисличном – 9,4 м<sup>3</sup>/га (37,3%), т.е. повысился в 2,2 раза и в первом, и во втором случае. Таким образом, повторное внесение удобрения усиливает и закрепляет эффект предыдущих приемов.

Далее происходит постепенное ослабление действия удобрения, хотя продуктивность древостоя остается повышенной. Срок эффективного действия удобрения определяется примерно в 10-15 лет, затем начинается период затухания действия удобрения, что подтверждается при анализе при-

роста, содержания подвижного азота в почве и интенсивности разложения почвенной органики (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). Начинает снижаться прирост и разница с разреженным без удобрения вариантом становится все менее заметной. Этот период достаточно длителен: положительное влияние удобрения на прирост фиксируются даже спустя 15 лет после их последнего внесения. Важно отметить, что в конце данного периода прирост не снижался ниже уровня сопоставимого контроля (разреженного без удобрения древостоя). Это позволяет нам говорить о том, что удобрения значительно повышают продуктивность разреженных еловых древостоев.

Для сосняков характерны сходные с ельниками закономерности в реакции на комплексный уход. Вместе с тем, специфические особенности экологии сосны, её светолюбие, невысокая потребность в элементах питания и малая требовательность к почвам, обуславливают характерные отличия ее реакции от реакции удобренных ельников (рис.2).

**В первые годы** после внесения удобрения активно стимулируют рост разреженных сосняков. Об этом свидетельствует и дополнительный прирост. В сосняках черничных влажных он составил в год 4,8 м<sup>3</sup>/га (ПП 5-3) и 1,0 м<sup>3</sup>/га (ПП 12-3), а в брусничных – 3,4 м<sup>3</sup>/га (ПП 6-6) и 5,0 м<sup>3</sup>/га (ПП 6-5) или соответственно 38,7; 9,8; 26,2 и 35,7% от текущего прироста.

Таким образом, величина дополнительного прироста в первом пятилетии в ельниках варьирует от 2,8 до 6,0 м<sup>3</sup>/га в год, а в сосняках от 1,0 до 5,0 м<sup>3</sup>/га в год. Эти данные не позволяют говорить о более высокой эффективности комплексного ухода в ельниках, но подтверждают несомненный стимулирующий эффект удобрений.

**В течение второго пятилетия** происходит значительное снижение дополнительного прироста. Следует отметить, что в конце данного периода на ПП 6-6 он приблизился к уровню сопоставимого контроля (разреженного без удобрения древостоя), а на ПП 6-5 опустился ниже этого уровня, даже, несмотря на дополнительное внесение удобрения на этом участке. Данное явление можно объяснить следующими причинами:

1) Для сосняков характерна конкурентная стратегия формирования и развития ценоза, поэтому они быстрее расходуют дополнительные ресурсы, тогда как для ельников более свойственна толерантная стратегия, что позволяет ей пользоваться дополнительными ресурсами на протяжении более длительного времени.

2) Сосняки произрастают на относительно менее плодородных и малобуферных почвах, быстрее теряющих дополнительный азот, чем ельники, формируемые на более плодородных почвах.

3) В этот период в сосняках, также как и в ельниках, удобрения интенсивно потребляются надземной и подземной фитомассой и микробоце-

нозом, где аккумулируются элементы питания, и таким образом вновь реализуется ресурсосберегающая функция лесной экосистемы.

**После последнего внесения удобрения** в течение 5-10 лет наблюдается снижение дополнительного прироста древостоя ниже уровня сопоставимого контроля (разреженного без удобрения древостоя). Объясняется это тем, что для сосняков характерно более слабое развитие нижних ярусов растительности, чем для ельников. Относительно небогатый видовой состав обусловлен лесорастительными условиями, достаточно типичными для сосняков в районе исследований. Результатом этого является замедленное вовлечение дополнительных ресурсов в систему малого биокруговорота, так как значительно увеличивается время связывания и возврата элементов питания в почву с опадом и, как следствие, снижение дополнительного прироста. Продолжительность данного периода будет зависеть от того, сколько времени потребуется древостоем и фитоценозу для восстановления баланса и перехода системы в более устойчивое и стабильное состояние, которое, прежде всего, определяется режимом комплексного ухода. И здесь следует отметить несколько особенностей в реакции на комплексный уход **сосняков разных типов леса**:

1) **В сосняках черничных влажных** на ПП 5-3 для восстановления баланса и перехода системы в устойчивое состояние потребовалось 5 лет. Комплексный уход вызывает изменение экологического режима, снижение конкуренции со стороны древостоя, высвобождение части почвенных ресурсов и повышение актуального плодородия почвы, и как следствие, разрастание злаковой растительности, выполняющей почвозащитную и ресурсосберегающую функцию (см. раздел 5.1.2). В фитоценозе происходит структурная перестройка, направленная на закрепление дополнительных ресурсов в биокруговороте с максимально возможным предотвращением их потерь. Для злаков характерен быстрый захват, связывание и возврат элементов питания в почву с опадом. Кроме того, они способны к образованию дернины, в которой также могут аккумулироваться связанные элементы питания. В результате дополнительные ресурсы вовлекаются в систему малого биокруговорота. Правда, из-за слабого развития и небогатого видового состава ЖНП это происходит гораздо медленнее, чем в ельниках.

2) **В сосняках черничных влажных** на ПП 12-3 для перехода системы в устойчивое состояние потребовалось 10 лет. Перед последним внесением удобрения на данной пробной разреживание проведено не было. Хотя по данным исследований, именно оно в первую очередь вызывает изменение экологического режима, снижение конкуренции со стороны древостоя, высвобождение части почвенных ресурсов и, следовательно, активное разрастание напочвенной растительности. Удобрение же повышает актуальное плодородие почвы и в конечном итоге также способствует

ет развитию ЖНП, накоплению в нем элементов питания и вовлечению их в систему малого биокруговорота, правда, без сопутствующего разреживания на это потребуется в 2 раза больше времени.

3) **В сосняках брусничных** (ПП 6-6 и ПП 6-5) в течение первых 5-ти лет после последнего внесения удобрения дополнительный прирост увеличивается. В данном типе леса напочвенная растительность менее развита, нежели в предыдущих вариантах (см. раздел 5.1.2). Поэтому удобрения потребляются в первую очередь самим древостоем. Это приводит к незначительному и кратковременному повышению дополнительного прироста, но далее картина полностью совпадает с сосняками черничными влажными: начинается снижение прироста.

Однако с **5-го пятилетия в сосняках черничных влажных и с 6-го в сосняках брусничных** происходит повышение дополнительного прироста, во-первых, за счет вовлечения в круговорот отмершей фитомассы, которая была первичным потребителем удобрений, и, во-вторых, за счет регуляторной функции почвенного микробоценоза, проявляющейся в «дозированном» высвобождении подвижного азота. Именно на этом этапе начинаются резкие колебания биологической активности почвы. Таким образом, почвенный микробоценоз компенсирует флуктуации в системе почва – микробоценоз – растения и ослабляет усиливающуюся диспропорцию между потребностью древостоя в элементах питания и их реальным наличием в почве (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Все вышесказанное позволяет подвести некоторые итоги исследования:

1) Комплексный уход повышает продуктивность как еловых, так и сосновых древостоев (табл.3).

Таблица 3

**Дополнительный прирост древесины в сосновых и еловых древостоях**

Тип леса (номер пробной площади)	Дополнительный прирост, м <sup>3</sup> /га в год	
	после РУ	после КУ
Ельник черничный (ПП 10-2 и 10-3)	0,3	2,4
Ельник кисличный (ПП 11-2 и 11-3)	1,7	3,1
Сосняк черничный влажный (ПП 5-2 и 5-3)	0,3	2,4
Сосняк черничный влажный (ПП 12-2 и 12-3)	0,5	1,5
Сосняк брусничный (ПП 6-9 и ПП 6-5)	4,0	4,0
Сосняк брусничный (ПП 6-2 и ПП 6-6)	2,9	4,1

Примечания: 1. Дополнительный прирост исчислялся как разница между накопленными запасами древостоев за 30 лет: пройденного комплексным уходом и контрольного варианта; разреженного без применения удобрений и контрольного варианта. 2. Результаты исследований по ПП 10-2 приводятся за 20 лет в связи с распадом древостоя после ветровала в 2000 г. По остальным пробным площадям приведены результаты за 40 лет наблюдений. 3. РУ – рубки ухода; КУ – комплексный уход за лесом.

Показателем этого является дополнительный прирост древесины. Следует подчеркнуть, что комплексный уход в сосновых и еловых насаждениях дает лучшие результаты, нежели только разреживание. При этом в сосняках, в отличие от ельников, эффективность данного мероприятия во многом определяется типом условий местопроизрастания.

2) Формирование дополнительного прироста древесины после применения комплексного ухода и в еловых, и в сосновых древостоях осуществляется в несколько этапов (рис.2):

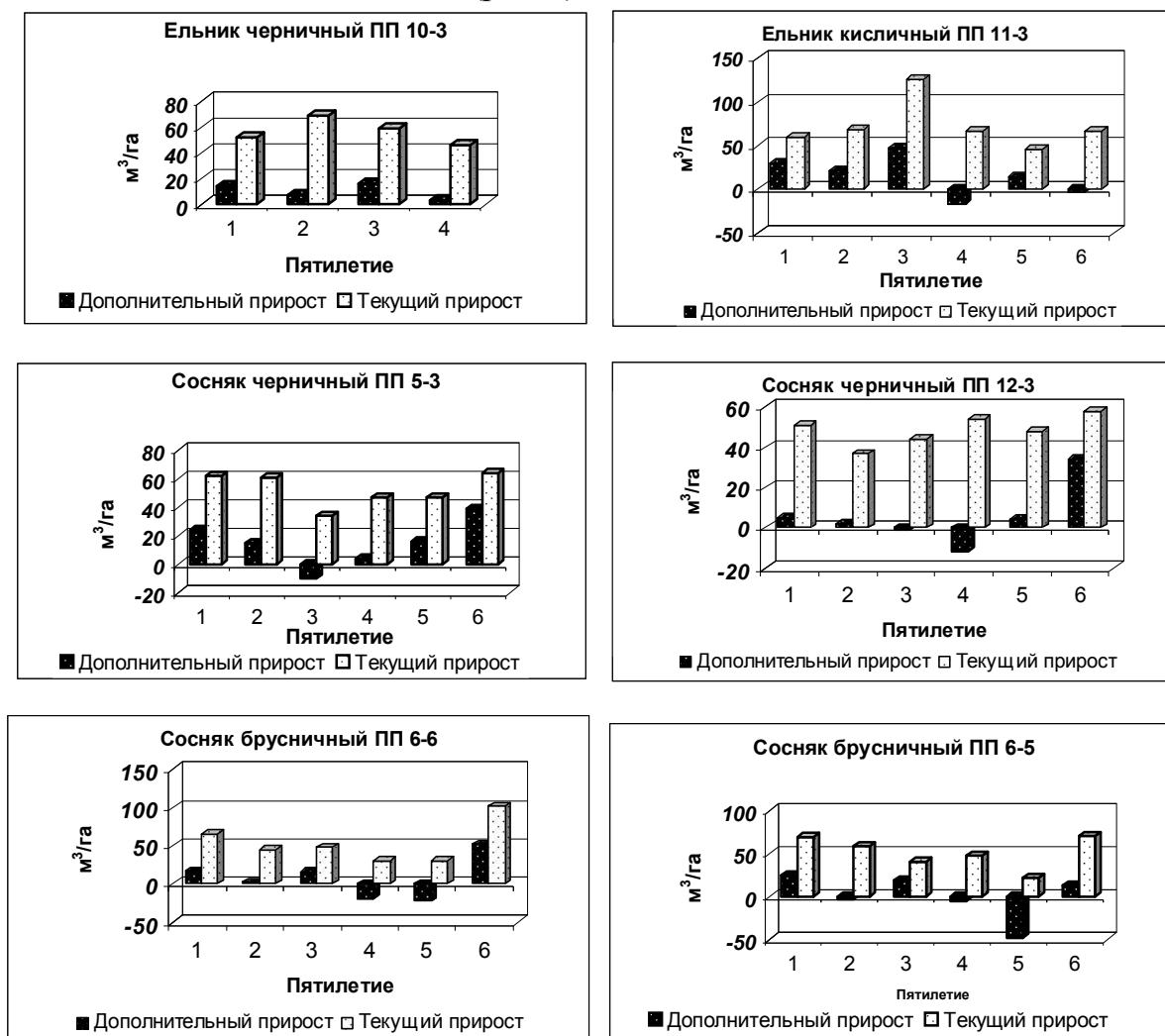


Рис.2. Дополнительный и текущий прирост в сосняках и ельниках после рубок ухода и комплексного ухода

- I этап. После 1-го приема комплексного ухода за лесом наблюдается быстрое повышение прироста древостоя, что объясняется высвобождением почвенных ресурсов на фоне возрастающей биологической активности почвы.

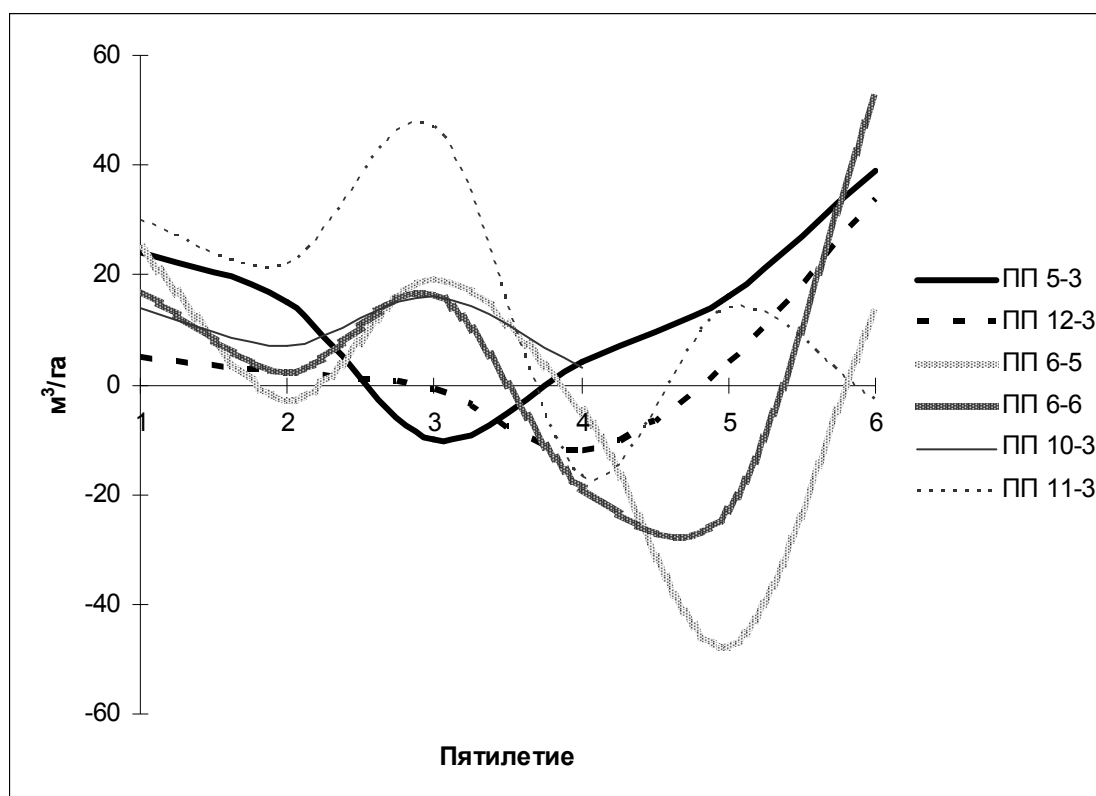
- II этап. Накопление дополнительных ресурсов одновременно со снижением дополнительного прироста в результате усиленного развития напочвенной растительности, резервирования части ресурсов в ризосфере и структурной перестройки в древостое (изменение в соотношения между стволовой, кроновой и подземной фитомассой в пользу двух последних), сопровождающейся энергетическими и ресурсными затратами, и реализация таким образом ресурсосберегающей функции лесной экосистемы.

- III этап. Вовлечение биогеоценозом сохранных ресурсов в биокруговорот и последующее увеличение дополнительного прироста.

- IV этап. Затухание действия удобрения.

Продолжительность каждого этапа определяется экологическими свойствами сосны и ели, условиями их местопроизрастания и правильно-стью подбора режима комплексного ухода в данных древостоях.

3) Этапами формирования дополнительного прироста объясняются и его колебания, причем в ельниках они выражены менее, чем в сосняках, что свидетельствует о более стабильном проявлении эффекта от комплексного ухода в еловых древостоях (рис.3).



**Рис.3.** Колебания дополнительного прироста в сосняках и ельниках после комплексного ухода по пятилетиям

Таким образом, ответив на первый вопрос, поставленный в начале раздела, можно перейти к рассмотрению второго: о факторах, от которых зависит формирование дополнительного прироста древостоя.

Анализ таксационных показателей (приложения 1-4) и материалов предыдущих исследований (Мельников, 1999) позволяют сделать вывод о том, что дополнительный прирост формируется, во-первых, за счет увеличения прироста деревьев по диаметру, во-вторых, вследствие более активной положительной реакции на уход большего числа деревьев по сравнению с только разреженным вариантом и, в-третьих, за счет сокращения отпада.

По сравнению с контрольным вариантом комплексный уход снижает отпад как в сосновых, так и в еловых насаждениях. За счёт сокращения отпада на определенных этапах может формироваться до половины величины дополнительного прироста (см. раздел 4.2.2). Причиной этого является потребление древостоем «экстра-азота», т.е. ресурсов, высвобожденных в результате активизации деятельности почвенного микробоценоза (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Таким образом, в удобренных древостоях происходит не резервирование элементов питания, а их высвобождение и вовлечение в биокруговорот. Фитоценоз активно использует свободные ресурсы. Энергетический поток усиливается и реализуется, в первую очередь, через древостой, в котором происходит распределение пластических веществ во всей надземной фитомассе.

При сопоставлении вариантов «разреживание» и «комплексный уход» наблюдается несколько иная картина (см. раздел 4.2.2).

В разреженных ельниках удобрения вызывают снижение отпада, особенно тонкомерных деревьев, в то время как в сосняках, пройденных комплексным уходом, отпад увеличивается по сравнению с только разреженным вариантом. Это позволяет еще раз акцентировать наше внимание на том, что в отличие от ели, удобрения не повышают толерантности и конкурентоспособности отставшей в росте сосны. Объясняется это особенностями ее физиологии, отношением к азоту и в какой-то мере ускорением сукцессии, о чем свидетельствует активное развитие нижних ярусов растительности (см. раздел 5.1.2).

В то же время комплексный уход, по крайней мере, в первое десятилетие, ослабляет напряженность внутривидовых отношений в древостое, что сразу же фиксируется увеличением амплитуды колебания прироста по диаметру. Целью данной работы не являлись исследования в этом направлении, поэтому для анализа использованы ранее полученные результаты (Мельников, 1999). В целом, реакции сосняков и ельников на комплексный уход в том, что касается радиального прироста, сходны, о чем можно говорить вполне утвердительно



на основании информации, полученной из литературных источников (Сляднев, 1970; Валк, 1979; Синькевич, 1984; Мельников, 1999).

Заметное повышение прироста отмечается в первый, но чаще во второй вегетационный сезон после комплексного ухода. Благоприятные погодные условия и внесение удобрения осенью предшествующего рубке года ускоряют этот процесс. Максимум радиального прироста отмечается на 3-5<sup>й</sup> год в зависимости от ранга дерева. Деревьями низших рангов свойственна замедленная реакция на уход по сравнению с более крупной елью или сосной. Если уход осуществляется перед неблагоприятным для роста вегетационным периодом, эти закономерности проявляются менее отчетливо. Повторное внесение удобрения в большей степени стимулирует рост крупных и средних деревьев. Таким образом, доля крупных деревьев в формировании дополнительного прироста возрастает, мелких же – уменьшается. После повторного приема комплексного ухода описанная выше динамика прироста повторяется, но с запаздыванием на 1-3 года опять же в зависимости от ранга деревьев (Мельников, Сеннов, 1985; Мельников, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1992, 1999).

Сравнение относительного прироста деревьев в разреженных и пройденных комплексным уходом ельниках показывает, что рост деревьев низших рангов лимитируется, в первую очередь, недостатком света, рост же лидеров – уровнем минерального питания. Так, в приспевающем ельнике за счет улучшения освещенности крон формируется 57% дополнительного прироста деревьев низших рангов; за счет повышения уровня азотного питания (удобрения) – 43% (Мельников, Данилин, 1990). У крупных деревьев это соотношение изменяется в пользу удобрения и составляет соответственно 37 и 63%. По мере смыкания разреженного рубкой древостоя световой режим для оставших в росте деревьев ухудшается, нехватка света начинает лимитировать их продуктивность и последующие внесения удобрения постепенно перестают стимулировать рост этой группы деревьев (Мельников, 1999).

Детальный анализ динамики радиального прироста деревьев разных рангов позволил установить, что комплексный уход явно стимулирует прирост, увеличивая число деревьев, положительно отреагировавших на уход. В первый же вегетационный сезон таких деревьев оказывается на 10-20% больше, чем в аналогичном варианте без удобрения (Мельников, 1999).

Таким образом, данная реакция сосновых и еловых насаждений на комплексный уход, сочетающаяся с сокращением отпада, формирует величину дополнительного прироста.

Одновременно динамика дополнительного прироста древостоев детально анализировалась и в целях определения сроков эффективного дей-

ствия удобрений. Они нестабильны и зависят от многих факторов: вида и дозы удобрений, характера почвы, главной породы, ее возраста и других условий. Длительное действие удобрения, внесенного в древостой, обусловлено высокой емкостью лесной экосистемы, ее целостностью, устойчивостью, сопряженностью и динамичностью всех ее компонентов. Соответственно, это действие проявляется во всех структурных элементах системы. Таким образом, говоря о сроках эффективного действия удобрений, необходимо рассматривать конкретный уровень организации лесной экосистемы. Так, показателем эффективности действия удобрений в древостое можно считать его текущий (дополнительный) прирост; если речь идет о фитоценозе, то необходимо учитывать продуктивность и других ярусов растительности (или, по крайней мере, структурные изменения в ценозе); при переходе на уровень биогеоценоза следует, помимо прочего, принимать во внимание почвенные характеристики, так как почвенный микробиоценоз является регулятором и чутким индикатором процессов, протекающих в ризосфере (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). В данном разделе мы остановимся лишь на сроках эффективного действия удобрения в древостое.

Анализ динамики дополнительного прироста позволяет сделать вывод о том, что срок эффективного действия удобрений в сосняках черничных влажных и брусничных 5-7, в ельниках кисличных и черничных – 10-15 лет (рис.3), т.е. в 2 раза больше, что можно объяснить разными стратегиями формирования и развития и сосняков и ельников, условиями их местопроизрастания и характеристиками нижних ярусов растительности.

#### **4.1.2 Общая производительность древостоев**

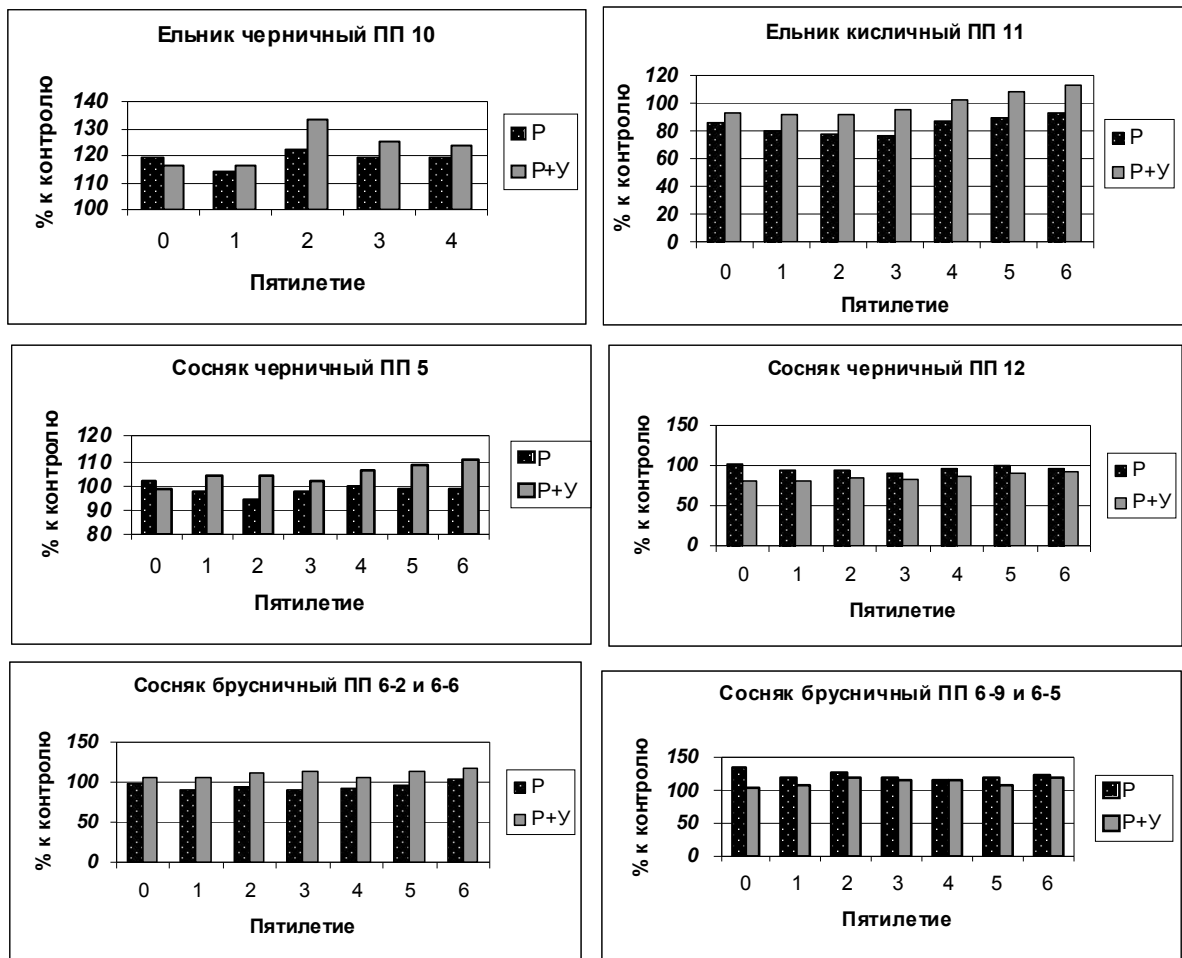
В соответствии с программой исследований на опытных объектах анализировалась общая производительность древостоев (приложения 1-5). Между запасом ствола и общей массой всех фракций существуют тесные корреляционные связи (Сеннов, 1984, 1999). Поэтому общая производительность отражает итоговую продуктивность древостоя в общепринятом смысле – как разность между фотосинтетическим накоплением органического вещества и расходом на дыхание, что позволяет говорить о продуктивности древостоя на основе общей производительности.

Рассмотрим динамику общей производительности в еловых и сосновых древостоях (табл.4). Рубки ухода и в ельниках, и в сосняках разных типов леса и разной интенсивности в течение первых пяти лет приводят к снижению общей производительности по сравнению с контрольным вариантом на 5-8% (табл.4, рис.4). Объясняется это, прежде всего, уменьшением носителей прироста в результате разреживания древостоев.

Таблица 4

**Общая производительность еловых и сосновых древостоев по вариантам опыта**

Серия пробных площадей	Пятилетие	Общая производительность по вариантам опыта				
		Контроль (К)	Рубка (Р)		Комплексный уход (Р+У)	
		м <sup>3</sup> /га	м <sup>3</sup> /га	в % к контролю	м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
10	Закладка ПП	184	219	119	214	116
	1	229	262	114	266	116
	2	266	325	122	355	133
	3	315	376	119	394	125
	4	354	422	119	440	124
	5	386	Распад древостоя (ветровал)		487	126
	6	420			533	127
11	Закладка ПП	374	322	86	346	93
	1	441	351	80	406	92
	2	516	400	78	475	92
	3	633	485	77	601	95
	4	653	569	87	668	102
	5	663	596	90	714	108
	6	692	645	93	781	113
5	Закладка ПП	204	208	102	201	99
	1	254	246	97	263	104
	2	312	292	94	324	104
	3	350	338	97	358	102
	4	383	382	100	405	106
	5	420	414	99	452	108
	6	466	461	99	516	111
12	Закладка ПП	188	191	102	152	81
	1	253	237	94	203	80
	2	283	269	95	240	85
	3	341	309	91	284	83
	4	390	373	96	338	87
	5	430	429	100	386	90
	6	478	457	96	445	93
6-3 (К), 6-2 (Р), 6-6 (Р+У)	Закладка ПП	191	188	98	202	106
	1	252	227	90	267	106
	2	279	266	95	312	112
	3	318	290	91	360	113
	4	368	341	93	390	106
	5	408	391	96	420	113
	6	433	448	103	512	118
6-3 (К), 6-9 (Р), 6-5 (Р+У)	Закладка ПП	191	252	132	198	104
	1	252	294	117	268	106
	2	279	354	127	327	117
	3	318	376	118	368	116
	4	368	419	114	416	113
	5	408	486	119	438	107
	6	433	531	123	509	118



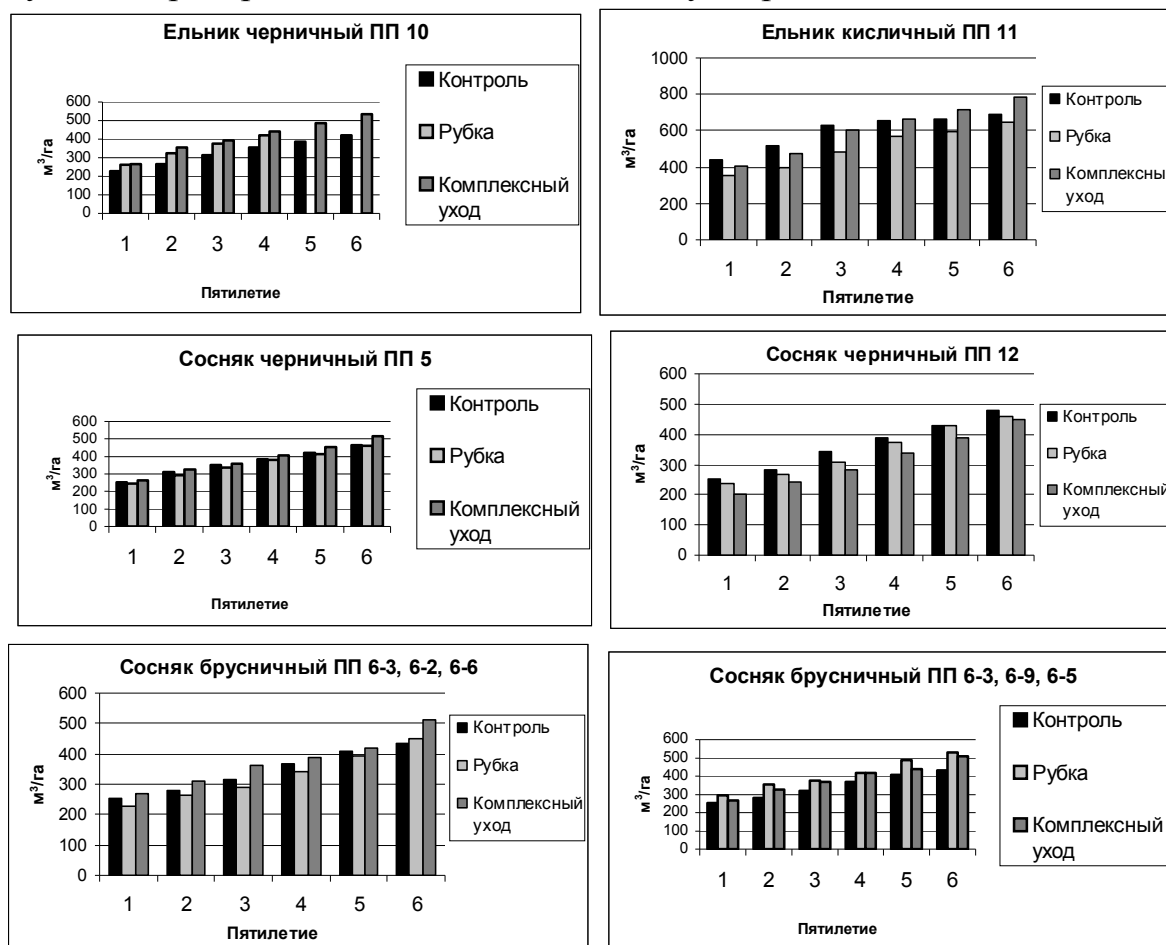
**Рис.4.** Общая производительность в еловых и сосновых древостоях после рубок ухода и после комплексного ухода в % к контролю

В начале эксперимента общая производительность составляла 119% от уровня контроля для ельника черничного (ПП 10-2) и 86% от уровня контроля для ельника кисличного (ПП 11-2). Через 30 лет она соответственно составила 119% и 93%. Эти результаты еще раз подтверждают выводы многих исследователей, что невозможно повысить общую производительность только рубками ухода (Сеннов, 1984). Однако следует отметить, что восстановление общей производительности древостоя, снизившейся по сравнению с контрольным вариантом в первые годы после рубок ухода, произошло уже через 10-20 лет. Правда, в дальнейшем, как показывают исследования, увеличения общей производительности по отношению к контролю не наблюдалось.

Все вышесказанное подтверждают эксперименты и в сосновых насаждениях. В начале эксперимента общая производительность составляла 102% от уровня контроля в сосняках черничных влажных (ПП 5-2 и ПП 12-2) и 98% и 132% от уровня контроля в сосняках брусничных ПП 6-2 и ПП 6-9 соответственно. Спустя 30 лет она составила 99% от уровня кон-

троля в сосняках черничных влажных (ПП 5-2 и ПП 12-2) и 103% и 123% от уровня контроля в сосняках брусничных ПП 6-2 и ПП 6-9 соответственно.

Из анализа рис.5 видно, что и в ельниках, и в сосняках (ПП 10-3, 11-3, 5-3, 6-6) пробные площади с комплексным уходом на протяжении всего периода опыта (30 лет) характеризуются большей производительностью по сравнению с участками, где проводились только рубки ухода. На этих участках были проведены двух- или трехкратные рубки ухода с последующим двух- или трехкратным внесением азотных удобрений.



**Рис.5.** Динамика общей производительности в еловых и сосновых древостоях по вариантам опыта

Совсем иная картина наблюдается на участках, где была проведена только одна рубка ухода с последующим двух- или трехкратным внесением удобрений через каждые 5 лет (ПП 12-3 и 6-5). В данном случае пробные площади с комплексным уходом на протяжении всего периода опыта (30 лет) характеризуются меньшей производительностью и продуктивностью по сравнению с участками, где проводились только рубки ухода. Правда, исходные показатели общей производительности на этих участках

были меньше на 20-30%, чем в сопоставляемом варианте без удобрения. Это позволяет нам сделать вывод о том, что и на этих пробных площадях наблюдается эффект от комплексного ухода за лесом. В связи с вышесказанным желательно, чтобы режим комплексного ухода включал в себя двух- или трехкратные рубки ухода с последующим двух- или трехкратным внесением азотных удобрений.

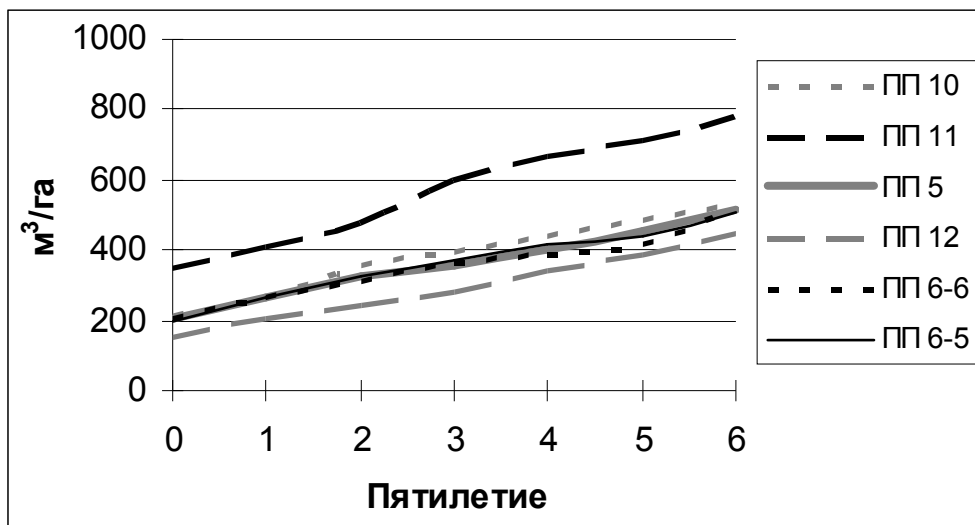
Однако, в целом, как показывают результаты исследований, с помощью регулярного комплексного ухода за лесом можно восстановить общую производительность до уровня контроля в ельниках за 10-15 лет, в сосняках – за 5-10 лет (табл.4). Сокращение сроков восстановления общей производительности до уровня контроля в сосняках почти в 2 раза можно объяснить слабым развитием нижних ярусов растительности (см. раздел 5.1.2). Относительно небогатый видовой состав обусловлен лесорастительными условиями, достаточно типичными для сосняков в районе исследований. В результате этого удобрения потребляются, прежде всего, самим древостоем. В ельниках же часть ресурсов идет на интенсивное развитие живого напочвенного покрова, и таким образом увеличивается период восстановления общей производительности самого древостоя.

Кроме того, в дальнейшем общая производительность древостоя, пройденного комплексным уходом, повышается на 10-20% (табл.5). Объясняется это тем, что азотные удобрения, внесенные в разреженные ельники и сосняки, в противоположность варианту с рубками ухода, стимулируют биологическую активность почвы. В результате происходит активное высвобождение почвенных ресурсов, повышается интенсивность биокруговорота (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). Фитоценоз активно использует свободные ресурсы. Энергетический поток усиливается и реализуется, в первую очередь, через древостой, в котором по сравнению с контрольным вариантом повышается общая производительность.

Таблица 5

**Изменение общей производительности за 30 лет в сосновых и еловых древостоях после рубок ухода и после комплексного ухода**

Тип леса и номер пробной площади	Изменение общей производительности за 30 лет, в % к контролю	
	После РУ	После КУ
Ельник черничный ПП 10-2 и 10-3	0	+8
Ельник кисличный ПП 11-2 и 11-3	+7%	+20%
Сосняк черничный влажный ПП 5-2 и 5-3	-3	+12
Сосняк черничный влажный ПП 12-2 и 12-3	-6	+12
Сосняк брусничный ПП 6-2 и ПП 6-6	+5	+12
Сосняк брусничный ПП 6-9 и ПП 6-5	-9	+14



**Рис.6.** Общая производительность в еловых и сосновых древостоях после комплексного ухода

При этом для высокопродуктивных ельников кисличных (ПП 11-3) характерен более высокий процент увеличения общей производительности по сравнению с высокопродуктивными сосняками брусничными (ПП 6-5, 6-6) (рис.6, табл.5). Это объясняется более плодородными и буферными почвами, на которых произрастает ель; большей сложностью еловых фитоценозов, позволяющей в лучшей мере реализовать ресурсосберегающие функции системы; толерантностью ельников, обладающих более эффективной стратегией резервирования и использования дополнительных ресурсов (Соловьев, 1987; Бигон М., Уарпер Дж., Таунсенд К., 1989; Мельников, 1999). Сосняки в отличие от ельников быстрее расходуют дополнительные ресурсы, и поэтому процент увеличения общей производительности через 30 лет в них ниже.

Для сосняков и ельников черничных процент увеличения общей производительности приблизительно одинаковый и составляет 8-12%. Однако конечная общая производительность включает в себя и отпад за весь период наблюдения (30 лет). Поэтому для более объективной оценки эффективности комплексного ухода необходимо рассматривать таксационный показатель, не включающий в себя отпад. Именно таким показателем и является продуктивность древостоя.

Анализ данных табл.6, рис.7 показывает, что с помощью регулярного комплексного ухода за лесом, при правильно выбранном режиме данного лесохозяйственного мероприятия, и в сосняках, и в ельниках можно повысить продуктивность древостоев на 30-50% за счет увеличения общей производительности древостоя на 10-20% (табл.5) и одновременного сокращения отпада более чем на 50% (табл.8) по сравнению с контролем.

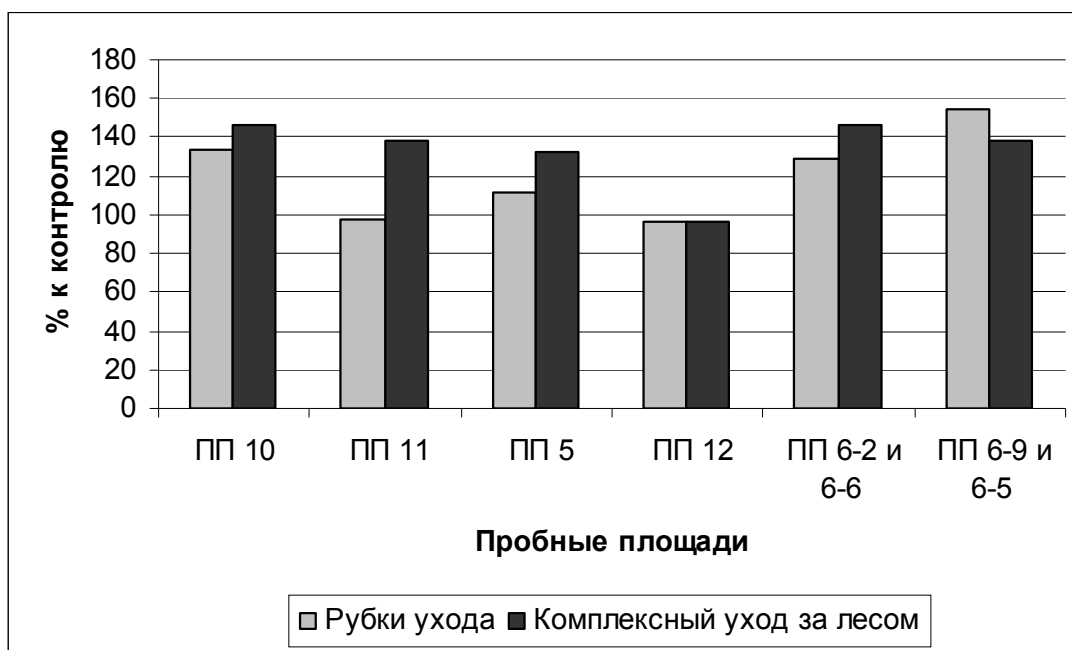
Таблица 6

**Итоговые общая производительность, отпад и продуктивность  
сосновых и еловых древостоев (через 30 лет после начала опытов)**

№ ПП	Вариант опыта	Общая произ- водитель- ность		Отпад		Продуктив- ность	
		м <sup>3</sup> /га	% к кон- тро- лю	м <sup>3</sup> /га	% к кон- тролю	м <sup>3</sup> /га	% к кон- тролю
10-1	Контроль	420	-	124	-	296	-
10-2	Двукратная рубка (1974, 1983)	Распад древостоя (ветровал)					
10-3	Двукратная рубка (1974, 1983) + трехкратное удоб- рение (1974, 1979, 1986 гг.)	533	127	66	53	467	158
11-1	Контроль	692	-	165	-	527	-
11-2	Трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.)	645	93	74	45	571	108
11-3	Трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.) + двукрат- ное удобрение (1973, 1983 гг.)	781	113	84	51	697	132
5-1	Контроль	466	-	79	-	387	-
5-2	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	461	99	31	39	430	111
5-3	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	516	111	5	6	511	132
12-1	Контроль	478	-	14	-	464	-
12-2	Рубка (1973 г.)	457	96	13	93	444	96
12-3	Рубка (1973 г.) + двукратное удобрение (1974, 1977 гг.)	445	93	10	71	445	96
6-3	Контроль	433	-	99	-	334	-
6-2	Двухкратная рубка (1971, 1981 гг.)	448	103	18	18	430	129
6-6	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	522	118	33	33	489	146
6-9	Рубка (1971 г.)	531	123	16	16	515	154
6-5	Рубка (1971 г.) + трехкратное удобрение (1972, 1977, 1982 гг.)	509	118	47	47	462	138

Примечание. Под продуктивностью древостоя мы понимаем запас растущего древостоя + вырубленный запас; под общей производительностью – запас растущего древостоя + вырубленный запас + запас сухостоя (отпад).





**Рис.7.** Изменение продуктивности сосновых и еловых древостоев через 30 лет после начала опытов по отношению к контролю (изменение продуктивности в ельнике черничном ПП серии 10 рассматривалось за 20 лет в связи с распадом древостоя)

В заключение следует отметить, что возможности повышения общей производительности и продуктивности древостоев путем применения удобрений в системе комплексного ухода за лесом все же ограничены. Связано это с тем, что минеральные удобрения, существенно повышая актуальное почвенное плодородие, относительно слабо изменяют потенциальное плодородие и тем самым оказываются не в состоянии повлиять на весь комплекс лесорастительных условий. Разовая доза вносимого азота не превышает годичной потребности фитоценоза и является оптимальной (Банева, 1985). Превышение ее приводит к потерям ресурсов в системе, дисбалансу элементов питания, снижению эффективности ухода за лесом. При этом удобрения стимулируют восстановительные процессы в древостое и фитоценозе в целом (см. разделы 5.2, 5.3). А это, по-нашему мнению, весьма важный аргумент в пользу систематического комплексного ухода.

## 4.2 УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ

Древостой – основной компонент фитоценоза. Выполняя транспорт, накопление и распределение ресурсов, он регулирует и стабилизирует биокруговорот элементов питания в лесном биогеоценозе. Появление свободных ресурсов, вызванное рубками ухода или комплексным уходом за

лесом, вызывает с его стороны ответную реакцию. Эта реакция направлена на возможно скорейшее связывание свободных ресурсов и вовлечение их в систему биокруговорота. Динамические процессы, протекающие в древостое, неизменно вызывают ответную реакцию и со стороны других компонентов фитоценоза. По характеру восстановительной реакции можно достаточно объективно судить о скорости адаптации и степени устойчивости к внешнему воздействию, как древостоя, так и фитоценоза в целом.

Эксперименты с комплексным уходом в сосновых и еловых древостоях показали, что действие удобрений наиболее ярко проявляется в стимулировании восстановительных процессов в фитоценозах (Мельников, 1999; Люлькович, 2005). Зная направление этих процессов, этапы восстановления экосистемы, основные функции, реализуемые на каждом из этих этапов, можно с большей объективностью прогнозировать результаты хозяйственного воздействия, корректировать режим ухода за лесом, определять перспективы ведения хозяйства. Эти аспекты, включая закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под воздействием комплексного ухода за лесом, изучены недостаточно.

#### **4.2.1 Интенсивность восстановления текущего прироста**

Познать действие механизмов, контролирующих устойчивость и продуктивность лесных фитоценозов, а также выявить пути реализации удобрений позволяет изучение динамики текущего прироста удобренного древостоя. Результаты исследования представлены в табл. 7.

Рубки ухода и в ельниках, и в сосняках вызывают изменение экологического режима. В результате, во-первых, происходят структурные изменения в древостое: уменьшается число деревьев, изменяется соотношение между кроновой, подземной и стволовой фитомассой древостоя в пользу первых двух, и происходит перераспределение прироста между деревьями разных ранговых групп. Во-вторых, вследствие снижения конкуренции со стороны древостоя разрастается живой напочвенный покров (см. раздел 5.1.2). И, в-третьих, осуществляется резервирование части высвободившихся почвенных ресурсов в ризосфере (Банева, 1985; Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). Эти изменения отражаются на продуктивности разреженного древостоя. Независимо от интенсивности рубки и типа леса происходит снижение текущего прироста (табл. 7). Одновременно развивается напочвенная растительность, и таким образом активизируется система малого биокруговорота, компенсирующая снижение продуктивности древостоя.

Таблица 7

**Динамика текущего прироста в еловых и сосновых древостоях  
по вариантам опыта**

Тип леса Пробная площадь (вариант опыта)	Пяти- летие	Среднепериодический текущий прирост по вариантам опыта					
		Контроль (К)		Рубка (Р)		Комплексный уход (КУ)	
		м <sup>3</sup> /га в год	% от за- паса	м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса	м <sup>3</sup> /га в год	% от за- паса
<u>Е черн.</u> 10-1 (К) 10-2 (Р) 10-3 (КУ)	1	9,0	4,0	8,6	4,3	10,4	5,4
	2	7,4	3,0	12,6	6,4	13,8	7,0
	3	9,8	3,5	10,2	4,2	11,8	4,6
	4	7,8	2,8	9,2	4,2	9,2	3,1
	5	6,4	2,2	Распад древостоя (ветровал)		9,4	2,9
	6	6,8	2,2			9,2	2,7
<u>Е кисл.</u> 11-1 (К) 11-2 (Р) 11-3 (КУ)	1	12,6	3,0	5,8	2,0	12,0	3,5
	2	15,0	3,2	9,8	3,3	13,8	3,9
	3	23,4	4,2	17,0	4,5	25,2	5,2
	4	4,0	0,8	16,8	4,8	13,4	3,1
	5	2,0	0,4	5,4	1,5	9,2	2,0
	6	4,2	0,9	7,0	1,9	9,6	2,0
<u>С</u> <u>черн.вл.</u> 5-1 (К) 5-2 (Р) 5-3 (КУ)	1	10,0	4,3	7,6	4,9	12,4	6,5
	2	11,6	4,2	9,2	5,4	12,2	5,6
	3	7,6	2,6	9,2	4,3	6,8	2,7
	4	6,6	2,1	8,8	3,4	9,4	3,2
	5	7,4	2,2	6,4	2,2	9,4	2,7
	6	7,7	2,1	8,8	2,8	10,6	2,6
<u>С</u> <u>черн.вл.</u> 12-1 (К) 12-2 (Р) 12-3 (КУ)	1	13,0	5,9	9,2	5,2	10,2	6,8
	2	7,5	3,1	8,0	3,9	9,2	5,0
	3	11,6	4,1	8,0	3,3	8,8	4,0
	4	9,8	3,1	12,8	4,2	10,8	4,1
	5	6,7	1,9	8,7	2,5	8,0	2,6
	6	8,0	2,1	4,7	1,3	9,8	2,7
<u>С брусн.</u> 6-3 (К), 6-2 (Р), 6-6 (КУ)	1	12,2	5,4	7,8	5,3	13,0	7,0
	2	5,4	2,3	7,8	4,6	9,0	4,4
	3	7,8	3,0	4,8	2,5	9,6	4,0
	4	10,0	3,5	10,2	4,2	6,0	2,2
	5	8,4	2,8	10,0	3,4	6,0	2,0
	6	5,0	1,6	7,0	1,2	11,3	2,3
<u>С брусн.</u> 6-3 (К), 6-9 (Р), 6-5 (КУ)	1	12,2	5,4	8,4	5,5	14,0	7,3
	2	5,4	2,3	12,0	5,7	11,8	4,8
	3	7,8	3,0	4,4	1,9	8,2	2,9
	4	10,0	3,5	8,6	3,2	9,6	3,0
	5	8,4	2,8	13,4	4,0	4,4	1,4
	6	5,0	1,6	9,0	2,4	14,2	3,6

Часть ресурсов резервируется почвенным микробиоценозом. Со временем происходит постепенное вовлечение сохранных ресурсов в продукционный процесс с последующим (в течение 10-20 лет) восстановлением текущего прироста разреженных сосновых и еловых древостоев до уровня контроля.

В сосняках и ельниках, пройденных комплексным уходом за лесом, восстановление текущего прироста до уровня контроля происходит в среднем за 5 лет (рис.8) при проведении комплексного ухода в период с благоприятными погодными условиями (ПП 10-3, 5-3, 6-5, 6-6). Если уход начат в худших условиях, период восстановления текущего прироста растягивается на более длительное время – до 15 лет (ПП 11-3, ПП 12-3). Однако это в 1,5-2 раза быстрее, чем при проведении рубок ухода. Объясняется данное явление тем, что удобрения стимулируют биологическую активность почвы в разреженных древостоях и повышают интенсивность биоциркулов, способствуя тем самым быстрейшему восстановлению текущего прироста (Мельников, 1999; Люлькович, 2005).

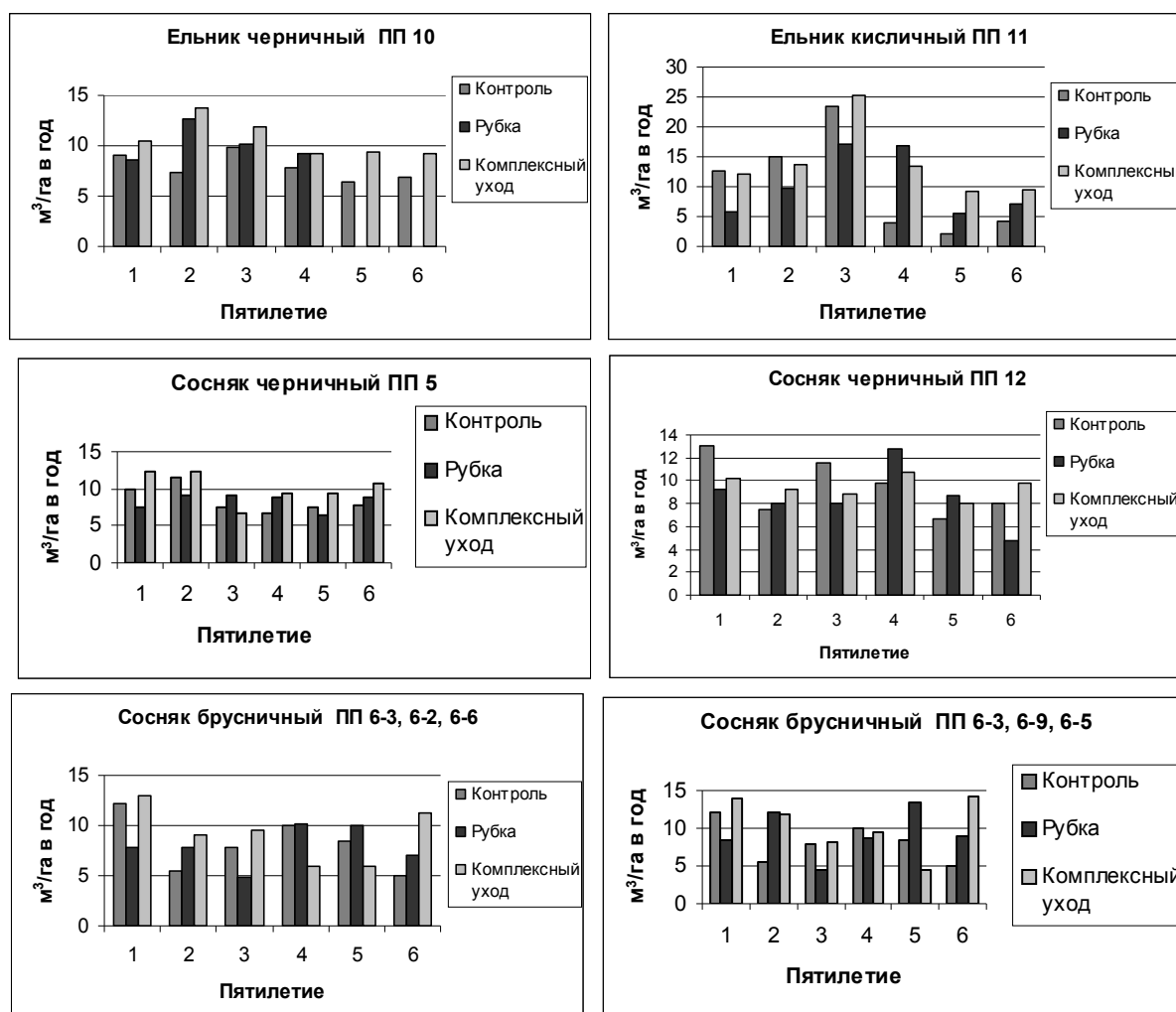
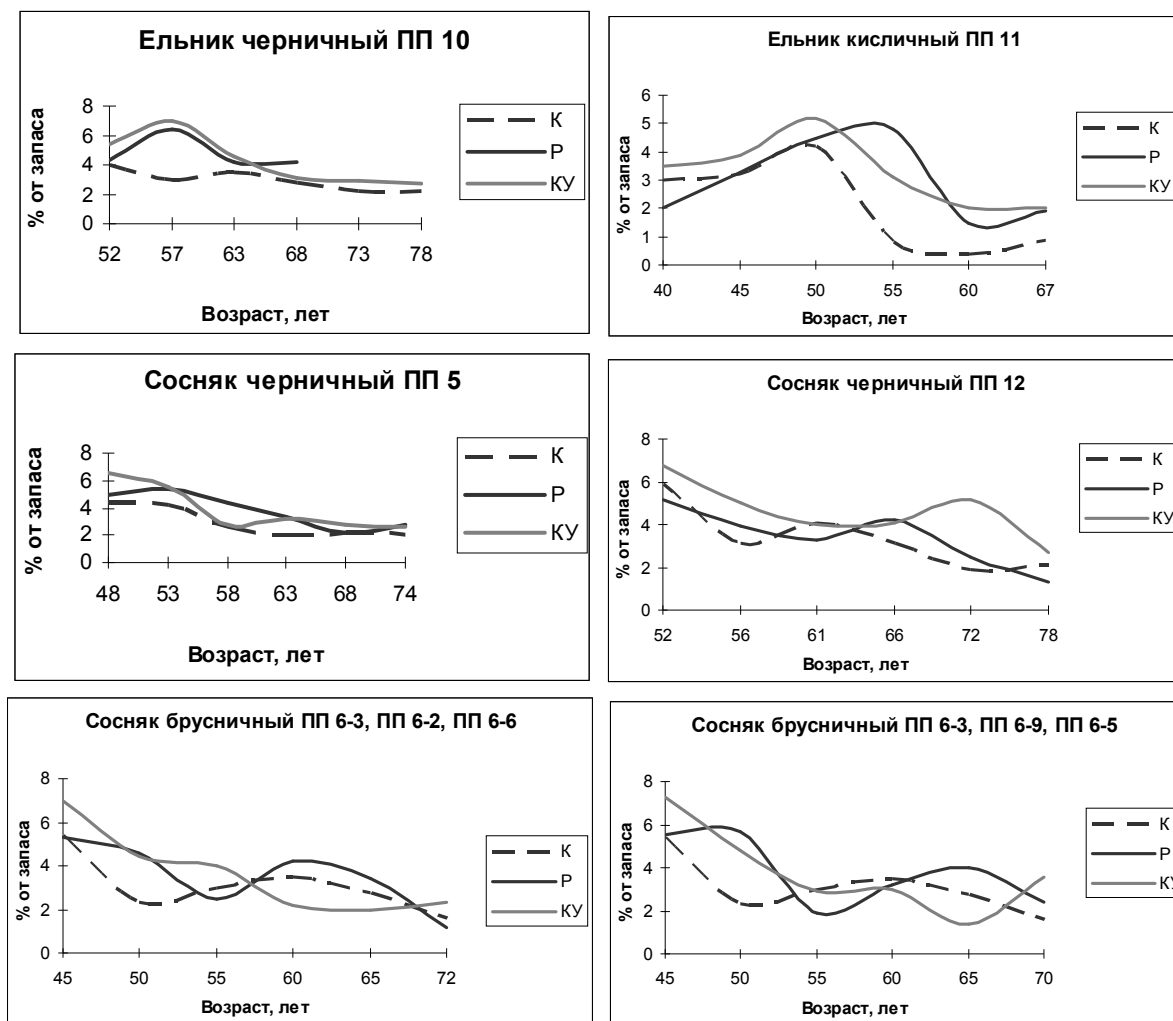


Рис.8. Текущий прирост в еловых и сосновых древостоях по вариантам опыта

Кроме того, в сосняках (ПП серий 5, 12) и ельниках (ПП серий 10, 11) на протяжении всего периода наблюдений текущий прирост в варианте с комплексным уходом в 1,5-2 раза выше (в высокопродуктивных сосновых древостоях ПП 6-5, 6-6 даже в 3-4 раза выше) по сравнению с контролем, а также с вариантом, где проводились рубки ухода (табл.7).

Последующие приемы комплексного ухода закрепляют эффект от предыдущих и тем самым позволяют сохранить текущий прирост на протяжении всего периода наблюдений значительно выше, чем он зафиксирован на контроле и на секциях с рубками ухода.

Возраст древостоя, в котором наблюдается наиболее интенсивный прирост (рис.9), для ельников равен 50-55 годам, для сосняков – 45-50 годам, т.е. в среднем на 5 лет раньше. Данное явление можно объяснить физиологическими и экологическими свойствами сосны и ели, а также стратегиями их формирования и развития.

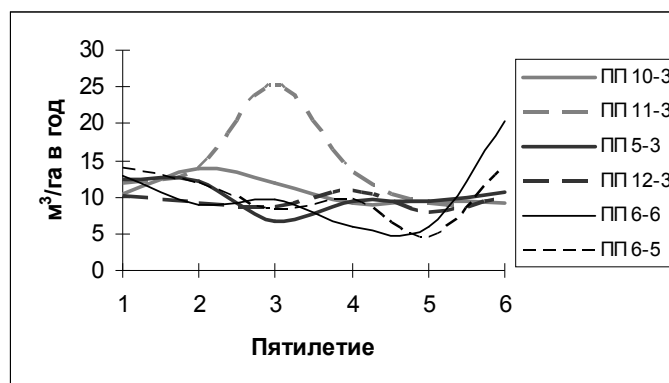


**Рис.9.** Текущий прирост в еловых и сосновых древостоях в процентах от запаса

Воздействие извне в виде комплексного ухода вызывает изменение характера колебаний текущего прироста в сосновых и еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом (рис.10). При этом здесь следует отметить два аспекта (Соловьев, 1987; Бигон М., Уарпер Дж., Таунсенд К., 1989; Мельников, 1999):

1) Амплитуда колебаний текущего прироста в высокопродуктивном ельнике кисличном в 3 раза больше, чем в остальных древостоях. Объясняется это тем, что колебания тем сильнее, чем меньше вероятность перехода системы (биогеоценоза) на более высокий уровень продуктивности. И, наоборот, чем такая вероятность выше, тем слабее колебания.

2) В еловых древостоях в отличие от сосновых меньше частота колебаний текущего прироста. Это связано с тем, что еловый биогеоценоз обладает большей емкостью системы и биокруговорота, в которые вливается поток дополнительной энергии по сравнению с сосновым биогеоценозом. Более емкая система быстрее поглощает и гасит колебания.



**Рис.10.** Колебания текущего прироста в еловых и сосновых древостоях после комплексного ухода

Таким образом, удобрение разреженных древостоев сглаживает амплитуду колебаний прироста и уменьшает их частоту, т.е. оптимизирует режим питания древесных растений и делает его менее зависимым от внешних и внутренних факторов среды. Такая зависимость характерна как для ельников, так и для сосняков.

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть, что удобрения, внесенные в разреженный древостой, ускоряют восстановительные реакции в лесном биогеоценозе, реализуясь, в первую очередь, в тех направлениях, которые являются жизненно необходимыми для экосистемы в данный период. Увеличивая актуальное почвенное плодородие, интенсифицируя биокруговорот, они повышают прирост древостоев и соответственно устойчивость (упругость) лесного биогеоценоза, что проявляется в сокращении периода его релаксации по сравнению, как с контрольным вариантом, так и с пробными площадями, пройденными только рубками ухода.

## 4.2.2 Отпад

Судить о характере и напряженности конкурентных отношений в древостое, его устойчивости и, соответственно, успешности того или иного лесохозяйственного мероприятия позволяет анализ величины и структуры отпада в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом (табл.8).

Таблица 8

**Распределение отпада в еловых и сосновых древостоях по пятилетиям**

Тип леса (№ ПП)	Пяти- летие	Отпад по вариантам опыта, м <sup>3</sup> /га в год		
		Контроль (К)	Разреживание (Р)	Комплексный уход (КУ)
Ельник черничный (ПП серии 10)	1	0,4	1,6	0,6
	2	2,8	1,6	1,4
	3	4,0	1,8	0,2
	4	6,0	1,8	1,2
	5	5,6	Распад древостоя (ветровал)	5,0
	6	6,0		4,8
Ельник кисличный (ПП серии 11)	1	3,8	0,4	0,6
	2	6,2	3,6	3,2
	3	5,4	1,2	0,0
	4	4,0	0,0	0,0
	5	6,2	3,4	4,4
	6	5,3	4,4	6,1
Сосняк черничный влажный (ПП серии 5)	1	1,4	0,6	0,6
	2	3,0	0,2	0,2
	3	5,0	0,4	0,0
	4	2,8	0,2	0,0
	5	2,6	0,4	0,2
	6	0,8	3,7	0,0
Сосняк черничный влажный (ПП серии 12)	1	2,6	1,0	1,0
	2	2,3	0,3	1,0
	3	2,8	0,2	1,2
	4	3,6	1,4	1,8
	5	1,8	2,0	0,8
	6	2,3	2,2	1,7
Сосняк брусничный (ПП 6-3, 6-2, 6-6)	1	2,4	0,2	2,0
	2	3,0	0,4	1,2
	3	4,0	0,0	1,6
	4	4,4	1,0	0,6
	5	4,8	0,6	1,2
	6	1,2	1,4	0,0
Сосняк брусничный (ПП 6-3, 6-9, 6-5)	1	2,4	0,4	1,0
	2	3,0	0,4	0,8
	3	4,0	0,8	0,8
	4	4,4	0,4	2,4
	5	4,8	1,2	1,8
	6	1,2	0,0	2,6

Анализ данных табл.8 и рис.11 позволяет нам ответить на вопрос, как изменяется величина отпада после каждого приема рубок ухода или комплексного ухода за лесом.

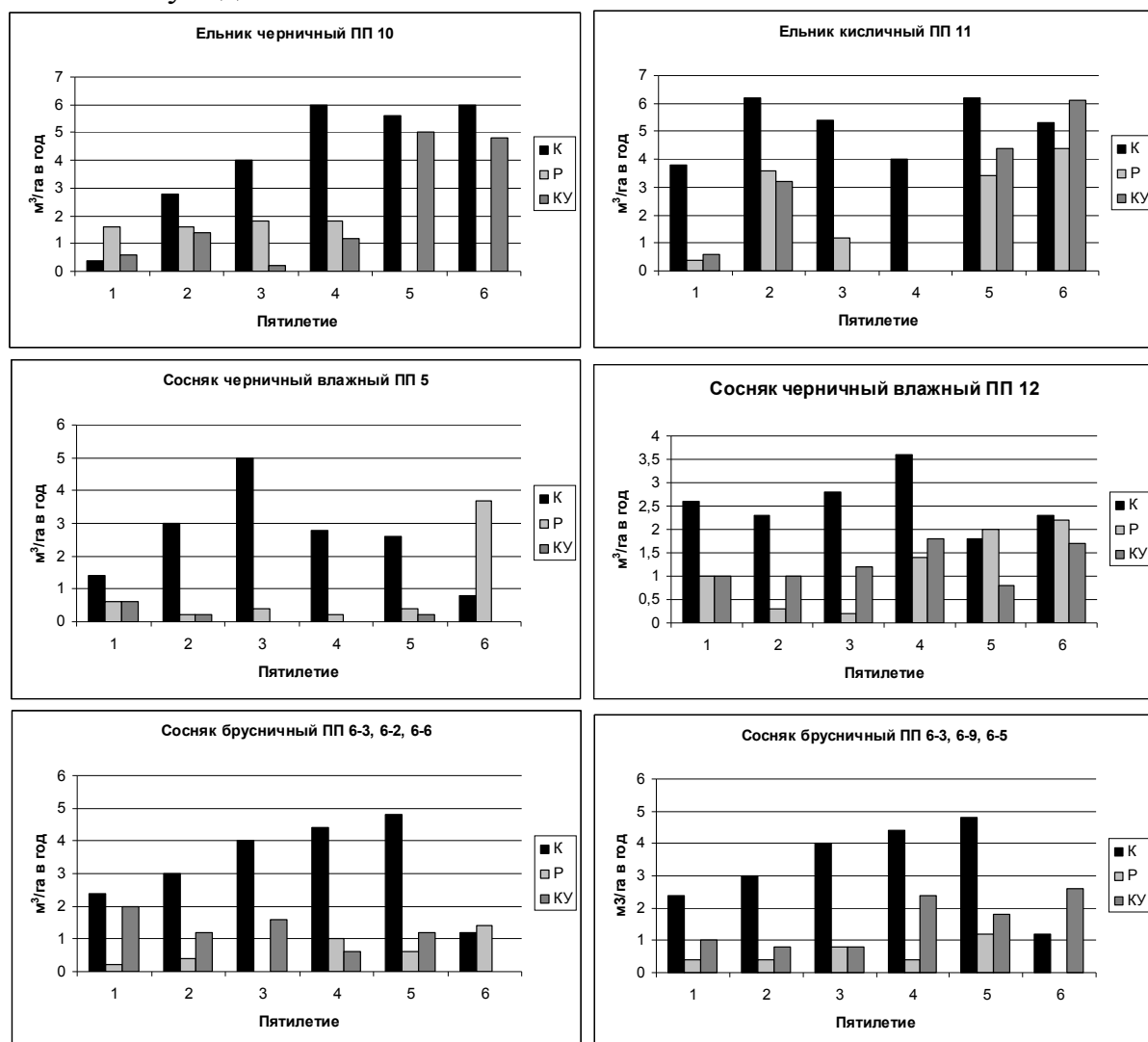


Рис.11. Распределение отпада в сосновых и еловых древостоях по пятилетиям

По сравнению с контрольным вариантом, комплексный уход за лесом на протяжении всего периода наблюдений значительно снижает отпад как в сосновых, так и в еловых древостоях (рис.11). Удобрения, внесенные в разреженные насаждения, способствуют активизации деятельности почвенного микробоценоза (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005). В результате происходит высвобождение и вовлечение в биокруговорот дополнительных ресурсов, которые активно использует древостой. Это в свою очередь приводит к снижению отпада. За счет сокращения отпада может формироваться до половины величины дополнительного прироста (см. раздел 4.1.1).



При сопоставлении вариантов «разреживание» и «комплексный уход» наблюдается несколько иная картина (рис.12). В разреженных ельниках удобрения могут вызывать как снижение отпада в 2 раза (ПП 10-3), так и его незначительное увеличение (ПП 11-3), что связано с невозможностью удобрений значительно повышать потенциальное плодородие почвы и тем самым оказывать влияние на весь комплекс лесорастительных условий.

В сосняках (ПП 6-6, 6-5, 12-3, исключение составляет ПП 5-3), пройденных комплексным уходом за лесом, по сравнению с только разреженными древостоями, отпад увеличивается (рис.11), что служит признаком усиливающейся дифференциации (Соловьев, 1985; Сеннов, Банева, Игнатъев и др., 1985; Мельников, 1999). Также это можно объяснить особенностями физиологии сосны, в какой-то мере ускорением сукцессии, о чем свидетельствует активное развитие нижних ярусов растительности (см. раздел 5.1.2) и отношением сосны к азоту. Невысокая потребность в элементах питания и малая требовательность сосны к почвам при превышении дозы азота приводит к потерям ресурсов в системе, дисбалансу элементов питания, снижению эффективности ухода за лесом. В связи с этим в практических целях можно рекомендовать снизить дозу вносимого азотного удобрения в сосновые древостои по сравнению с ельниками.

Анализ приложений 6-8 позволяет ответить на вопрос, как реагируют на комплексный уход деревья разных рангов.

В сосновых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом, отпаду подвержены, прежде всего, тонкомерные деревья 8, 12 ступени толщины в сосняках II-III классов бонитета (ПП 12-3) и 12, 16 ступеней толщины в сосняках I класса бонитета (ПП 6-6, 6-5). Таким образом, удобрения не повышают толерантности и конкурентоспособности отставшей в росте сосны.

В ельниках же, наоборот, наблюдается задержка отпада, прежде всего, тонкомерных деревьев. Но при этом в ельниках несколько усиливается отпад средних и крупных деревьев (20, 24, 28 и 32 ступеней толщины). Это еще раз подтверждает мнение многих исследователей о том, что прирост мелких экземпляров лимитируется нехваткой света, крупных – недостатком элементов почвенного питания (Волков, 1986; Мельников, 1988, 1989, 1990, 1999). Таким образом, в разреженных и удобренных ельниках обостряется конкуренция между деревьями-лидерами за дополнительный азот, а отставшая в росте ель реагирует на улучшение режима освещенности. Дополнительное питание улучшает физиологическое состояние последней и способствует повышению ее толерантности. В то же время отпад средних и крупных деревьев, по крайней мере, в первое десятилетие, ослабляет напряженность внутривидовых отношений в древостое.

Из-за повышенной устойчивости тонкомера в удобренных ельниках отмечается слабое увеличение среднего диаметра древостоя, что необходимо особо учитывать при составлении целевых программ комплексного ухода, ориентированных на получение конкретных видов сортиментов (Сеннов, 1976; Мельников, 1986, 1990, 1999 Мартынов и др., 1991).

Такая реакция дает основание более обоснованно ориентировать лесовыращивание в ельниках на балансы, в сосняках же – преимущественно на получение пиловочника.

Подводя итоги вышесказанному, проанализируем итоговый отпад в сосновых и еловых древостоях за 30 лет наблюдений (табл.9, рис.12).

Таблица 9

**Отпад по вариантам опыта в еловых и сосновых древостоях за 30 лет в м<sup>3</sup>/га**

Тип леса (серия и номер пробной площади)	Отпад по вариантам опыта, м <sup>3</sup> /га		
	Контроль (К)	Рубка ухода (Р)	Комплексный уход (КУ)
Ельник черничный (ПП серии 10)	65	34	17
Ельник кисличный (ПП серии 11)	165	74	84
Сосняк черничный влажный (ПП серии 5)	79	31	5
Сосняк черничный влажный (ПП серии 12)	79	39	38
Сосняк брусничный (ПП 6-3, 6-2, 6-6)	99	18	33
Сосняк брусничный (ПП 6-3, 6-9, 6-5)	99	16	47

Данные табл.9 и рис.12 показывают, что отпад за 30 лет и в сосновых и еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом (ПП 10-3, 11-3, 5-3, 12-3, 6-5, 6-6), в 2-3 раза ниже, чем на контроле. Это еще раз подтверждает необходимость регулярного ухода за лесом, о которой неоднократно говорили и говорят многие исследователи (Давыдов, 1971; Сеннов, 1977, 1984; Клинов, 1985; Мартынов и др., 1991; Мельников, 1999).

Однако по сравнению участками, где проводились только рубки ухода (ПП 11-2, 6-2, 6-9), итоговый отпад за 30 лет в разреженных и удобренных высокопродуктивных древостоях (ПП 11-3, 6-6, 6-5) оказался в среднем 1,5 раза выше, что, в целом, обусловлено интенсификацией биокруговорота и продукционных процессов (табл.9).

При этом в древостоях меньшей продуктивности (ПП 10-3, 5-3, 12-3) отпад был ниже, чем в сопоставляемых вариантах с рубками ухода (ПП 10-2, 5-2, 12-2). Все это говорит о том, что возможности повышения устойчи-

ности древостоя путем применения удобрений в системе комплексного ухода за лесом ограничены. И эти возможности тем ниже, чем лучше условия местопроизрастания для конкретной породы в данной лесоклиматической зоне (табл.9).

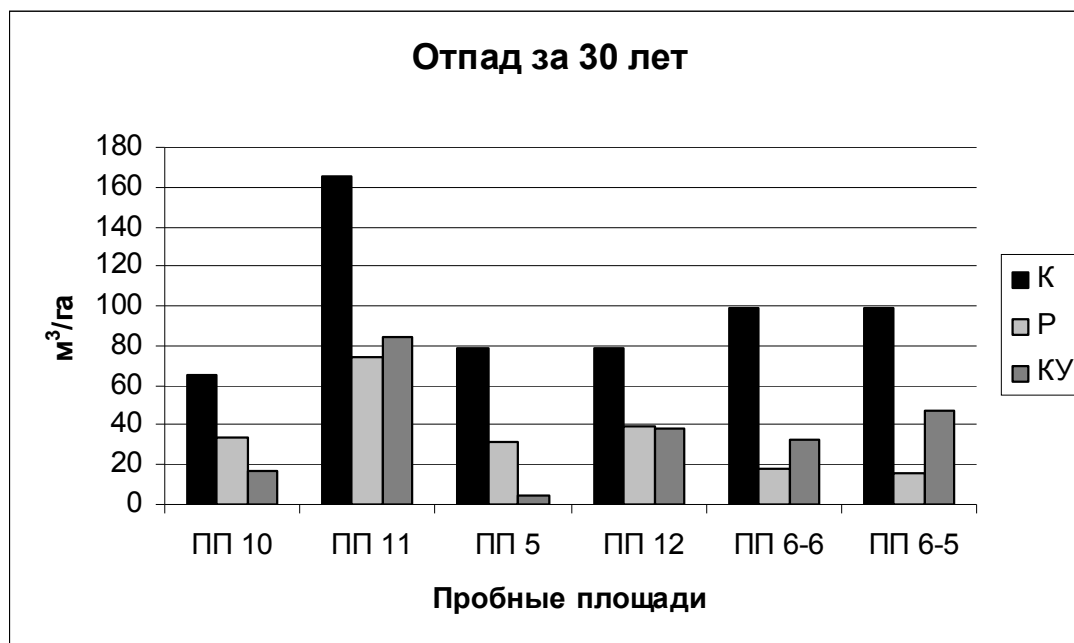


Рис.12. Отпад в сосновых и еловых древостоях за 30 лет в м³/га

Таким образом, удобрения, внесенные в разреженные древостои, в целом, способствуют снижению отпада и в сосняках, и в ельниках по сравнению с контрольным вариантом. Однако по сравнению с рубками ухода в высокопродуктивных насаждениях они могут увеличивать отпад. В связи с этим полученные результаты исследования не позволяют сделать однозначный вывод о преимуществах в этой части применения комплексного ухода за лесом по сравнению с рубками ухода ни в сосновых, ни в еловых древостоях.

### 4.3. 3 Соотношение величин отпада и текущего прироста

Анализ величины и структуры отпада (см. раздел 4.2.2.) не позволил нам сделать положительный вывод о возможности повышения устойчивости сосновых и еловых древостоев с помощью регулярного комплексного ухода за лесом. В то же время в разделе «Интенсивность восстановления текущего прироста» результаты исследования показали, что благодаря данному лесохозяйственному мероприятию текущий прирост древостоев и скорость его восстановления до уровня контроля в 1,5-2 раза выше по сравнению с пробными площадям, пройденными только рубками ухода.

В связи с этим для разрешения возникшего противоречия необходимо проанализировать такой показатель, который включал бы в себя одновременно и текущий прирост, и отпад. Таким показателем является соотношение величин отпада и текущего прироста в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом.

Кроме того, этот показатель наиболее хорошо отражает два основных «механизма», обеспечивающих устойчивость лесного биогеоценоза воздействию извне (Берталанфи фон Л., 1969; Назаров, 1974; Яблонский, 1978; Соловьев, 1985, 1987; Мельников, 1999):

1) Гомеостаз – способность нарушенной системы возвращаться в прежнее состояние устойчивого равновесия.

2) Упругость, характеризующую скорость возврата системы к исходному состоянию после выведения ее из состояния.

Результаты исследований представлены в табл.10. и на рис.13.

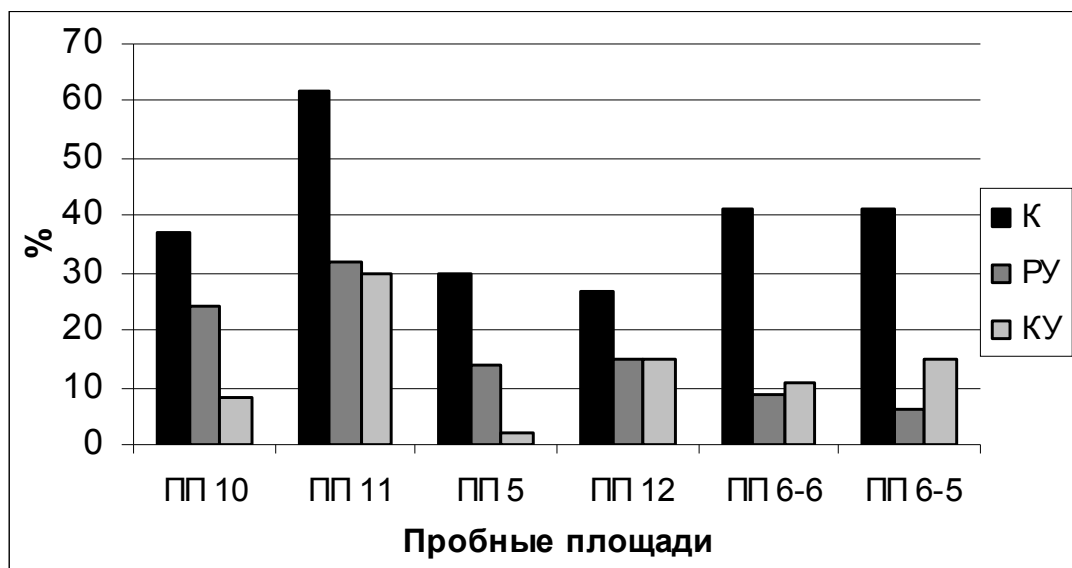
Анализ показывает, что отпад в ельниках черничных (ПП 10-3) и кисличных (ПП 11-3), пройденных комплексным уходом за лесом, составляет соответственно 8 и 30% от текущего прироста, на контроле (ПП 10-1 и 11-1) – 37 и 62% и на секциях, пройденных рубками ухода (ПП 10-2 и 11-2) – 24 и 32%. Сравнивая полученные данные, мы видим, что скорость возврата лесной экосистемы в состояние устойчивого равновесия на секциях с комплексным уходом (ПП 10-3 и 11-3) в 2-3 раза выше, чем на контроле (ПП 10-1 и 11-1) (рис.13).

Таблица 10

**Отпад и текущий прирост в сосновых и еловых древостоях за 30 лет наблюдений**

Пробная площадь	Отпад по вариантам опыта, м <sup>3</sup> /га за 30 лет			Текущий прирост по вариантам опыта, м <sup>3</sup> /га за 30 лет			Процент отпада от текущего прироста по вариантам опыта, %		
	К	РУ	КУ	К	РУ	КУ	К	РУ	КУ
ПП серии 10	65	34	17	177	144	213	37	24	8
ПП серии 11	165	74	84	268	228	280	62	32	30
ПП серии 5	79	31	5	262	223	220	30	14	2
ПП серии 12	79	39	38	290	262	247	27	15	15
ПП 6-3 (К), 6-2 (РУ), 6-6 (КУ)	99	18	33	242	210	298	41	9	11
ПП 6-3 (К), 6-9 (РУ), 6-5 (КУ)	99	16	47	242	279	311	41	6	15

Примечание. На ПП серии 10 в варианте с рубками ухода отпад и прирост учитывался за 20 лет в связи с распадом древостоя.



**Рис.13.** Процент отпада от текущего прироста в сосновых и еловых древостоях за 30 лет наблюдений

В ельниках (ПП 10-2, 11-2), пройденных рубками ухода, этот показатель только в 1,5-3 раза выше по отношению к контролю (ПП 10-1, 11-1), что свидетельствует о большей возможности повышения устойчивости еловых древостоев с помощью комплексного ухода за лесом, нежели только с помощью рубок ухода.

На основании вышесказанного можно с уверенностью говорить о том, что комплексный уход в еловых древостоях повышает упругость лесной экосистемы и, соответственно, устойчивость данных древостоев.

Сходные закономерности наблюдаются и в сосновых древостоях. Дальнейший анализ табл.10 показывает, что отпад в сосняках черничных влажных (ПП 5-3, 12-3) и брусничных (ПП 6-6, 6-5), пройденных комплексным уходом за лесом, составляет соответственно 2, 15, 11 и 15% от текущего прироста, на контроле (ПП 5-1, 12-1, 6-3) – 30, 27 и 41% и на секциях, пройденных рубками ухода (ПП 5-2, 12-2, 6-2 и 6-9) – 14, 15, 9 и 6%.

Мы видим, что и в сосновых древостоях (ПП 5-3, 12-3, 6-6, 6-5) скорость возврата лесной экосистемы в состояние устойчивого равновесия на участках, пройденных комплексным уходом (ПП 5-3, 12-3, 6-6, 6-5) и рубками ухода (ПП 5-2, 12-2, 6-2 и 6-9), в 2-3 раза выше, чем на контроле (ПП 5-1, 12-1, 6-3).

Однако для сосняков следует отметить одну особенность, связанную, прежде всего, с биологией данной породы и лесорастительными условиями (табл.10, рис.13).

В сосняках черничных влажных (ПП 5-3 и 12-3), на избыточно увлажненных почвах, после комплексного ухода, процент отпада от текущего прироста значительно меньше, чем после рубок ухода, что объясняется повышением активности мелких корней деревьев после внесения минеральных удобрений в разреженные древостои (Банева, 1985). В результате этого увеличивается всасывающая способность корней, что приводит к «подсушиванию» почвы. Благодаря этому в дальнейшем создаются оптимальные условия для роста и развития сосны, а именно, повышается интенсивность биокруговорота и, соответственно, устойчивость сосняков на избыточно увлажненных почвах.

В сосняках брусничных (ПП 6-6 и 6-5), в условиях наиболее оптимальных для роста и развития сосны в подзоне южной тайги, наоборот, процент отпада от текущего прироста в 1,5-2 раза больше в древостоях после комплексного ухода за лесом (на ПП 6-6 и 6-5), чем после рубок ухода (ПП 6-2 и 6-9). Внесение удобрений в разреженные сосняки и в этом случае приводит к повышению активности мелких корней деревьев (Банева, 1985). Однако, в сосняках брусничных, и на без того относительно сухих почвах, это вызывает еще большее их «иссушение», что приводит к обострению внутривидовой конкуренции в древостое и увеличению доли отпада в сосняках.

На основании вышесказанного в практических целях можно увеличить дозу вносимого удобрения в сосняках на избыточно увлажненных почвах и уменьшить на сухих.

### **4.3 Анализ зависимости продуктивности и устойчивости древостоев от климатических показателей**

Развитие науки тесно связано с построением и использованием разнообразных моделей. В настоящее время трудно назвать ту область науки, где бы оно ни использовалось. Не является исключением и лесоводство. В лесоводственных исследованиях чаще всего определяют количественные факторы (таксационные показатели), но в эксперименте участвуют и меняются качественные факторы (типы ландшафта, леса, лесорастительных условий, гумуса, древесная порода, лесохозяйственные мероприятия, погодные условия и др.). Полученные на пробных площадях результаты подлежат математической обработке. В практике лесоводственных исследований математические методы чаще всего применяют в двух случаях: для анализа совокупности результатов измерений и для моделирования связей между различными показателями. В качестве моделей применяют уравнения регрессии.

В данном разделе речь пойдет о математических моделях, отражающих причинно-следственные связи между таксационными (текущий прирост и отпад) и климатическими показателями.

Многие исследователи отмечают, что в неблагоприятные по погодным условиям годы происходят заметные функциональные изменения в динамике развития древостоя и других компонентов лесных биогеоценозов. В худшие годы крупные деревья – лидеры снижают прирост, конкуренция с их стороны явно ослабевает, что позволяет отставшим в росте деревьям не только «пережить» неблагоприятный период, но зачастую и повысить прирост. В лучшие годы наблюдается обратная картина. Таким образом, в древостое происходит компромиссное распределение ресурсов, которое в худшие годы способствует стабилизации продуктивности и повышению устойчивости, а в лучшие годы – прогрессирующему повышению продуктивности. В худшие годы ослабевает биологическая активность почвы, однако это приводит к накоплению ресурсов, которые реализуются фитоценозом в последующие, более благоприятные годы. Эффективность удобрений также зависит от погодных условий: в худший период, когда биокруговорот замедляется, действие удобрений растягивается во времени, в лучшие годы – происходит их интенсивная и быстрая реализация в фитоценозе. Так или иначе, периодические колебания погодных условий и, соответственно, прироста не оказывают влияния на главное – способность удобрений повышать продуктивность лесных фитоценозов. Поскольку удобрения являются дополнительным ресурсом, активно реализуемым в системе, постольку можно прийти к выводу, что они, чаще всего, либо повышают сопротивляемость ценоза к неблагоприятным воздействиям извне, либо, по крайней мере, не ослабляют ее (Мельников, 1999; Григорьева, 2005, Люлькович, 2005).

С помощью методов математического моделирования мы попытаемся подтвердить или опровергнуть имеющиеся данные.

Для этого определим зависимость текущего прироста (табл.11) от двух климатических показателей: средней годовой температуры воздуха  $t_{\text{в}}$  и суммы осадков за год  $S$  (табл.12) на примере пробной площади 10-3.

Простейшей зависимостью является линейная:

$$y = a_0 + a_1 t_{\text{в}} + a_2 S .$$

Коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$  определяются из условия близости опытных значений таксационных показателей и их теоретических значений, полученных по уравнению регрессии. С этой целью решается система линейных алгебраических уравнений (для текущего прироста и отпада  $n=6$ ):

$$y_k = a_0 + a_1 t_{\text{в}k} + a_2 S_k, \quad k=1,2,\dots,n.$$

Таблица 11

**Отпад и среднепериодический текущий прирост в сосновых и еловых древостоях**

Тип леса Пробная площадь (вариант опыта)	Пятиле- тие	Отпад по вариантам опыта, м <sup>3</sup> /га в год			Среднепериодический текущий прирост по вариан- там опыта, м <sup>3</sup> /га в год		
		К	Р	КУ	К	Р	КУ
<u>Е черн.</u> 10-1 (К) 10-2 (Р) 10-3 (КУ)	1	0,4	1,6	0,6	9,0	8,6	10,4
	2	2,8	1,6	1,4	7,4	12,6	13,8
	3	4,0	1,8	0,2	9,8	10,2	11,8
	4	6,0	1,8	1,2	7,8	9,2	9,2
	5	5,6	ветровал	5,0	6,4	ветровал	9,4
	6	6,0		4,8	6,8		9,2
<u>Е кисл.</u> 11-1 (К) 11-2 (Р) 11-3 (КУ)	1	3,8	0,4	0,6	12,6	5,8	12,0
	2	6,2	3,6	3,2	15,0	9,8	13,8
	3	5,4	1,2	0,0	23,4	17,0	25,2
	4	4,0	0,0	0,0	4,0	16,8	13,4
	5	6,2	3,4	4,4	2,0	5,4	9,2
	6	5,3	4,4	6,1	4,2	7,0	9,6
<u>С черн.вл.</u> 5-1 (К) 5-2 (Р) 5-3 (КУ)	1	1,4	0,6	0,6	10,0	7,6	12,4
	2	3,0	0,2	0,2	11,6	9,2	12,2
	3	5,0	0,4	0,0	7,6	9,2	6,8
	4	2,8	0,2	0,0	6,6	8,8	9,4
	5	2,6	0,4	0,2	7,4	6,4	9,4
	6	0,8	3,7	0,0	7,7	8,8	10,6
<u>С черн.вл.</u> 12-1 (К) 12-2 (Р) 12-3(КУ)	1	2,6	1,0	1,0	13,0	9,2	10,2
	2	2,3	0,3	1,0	7,5	8,0	9,2
	3	2,8	0,2	1,2	11,6	8,0	8,8
	4	3,6	1,4	1,8	9,8	12,8	10,8
	5	1,8	2,0	0,8	6,7	8,7	8,0
	6	2,3	2,2	1,7	8,0	4,7	9,8
<u>С брусн.</u> 6-3 (К), 6-2 (Р), 6-6 (КУ)	1	2,4	0,2	2,0	12,2	7,8	13,0
	2	3,0	0,4	1,2	5,4	7,8	9,0
	3	4,0	0,0	1,6	7,8	4,8	9,6
	4	4,4	1,0	0,6	10,0	10,2	6,0
	5	4,8	0,6	1,2	8,4	10,0	6,0
	6	1,2	1,4	0,0	5,0	7,0	11,3
<u>С брусн.</u> 6-3 (К), 6-9 (Р), 6-5 (КУ)	1	2,4	0,4	1,0	12,2	8,4	14,0
	2	3,0	0,4	0,8	5,4	12,0	11,8
	3	4,0	0,8	0,8	7,8	4,4	8,2
	4	4,4	0,4	2,4	10,0	8,6	9,6
	5	4,8	1,2	1,8	8,4	13,4	4,4
	6	1,2	0,0	2,6	5,0	9,0	14,2



**Температура воздуха и сумма осадков с 1970 по 2004 гг.  
по данным метеостанции «Белогорка»**

Год	Средняя температура воздуха за год, $t_{в}$ , °С	Сумма осадков за год, S, мм	Средняя температура воздуха за вегетационный период, $t_{в}$ , °С	Сумма осадков за вегетационный период, S, мм
1970	3,3	734	14,2	375
1971	3,8	627	13,5	201
1972	4,8	559	16,3	226
1973	3,9	654	14,0	269
1974	5,0	815	14,4	432
1975	5,4	675	14,5	208
1976	1,9	638	12,1	321
1977	3,7	644	13,3	269
1978	2,3	653	12,8	349
1979	3,8	538	14,2	241
1980	3,0	747	14,1	332
1981	4,2	681	14,4	272
1982	4,2	631	13,2	347
1983	5,1	737	14,4	225
1984	4,5	598	13,6	298
1985	2,5	650	13,8	335
1986	3,8	763	13,7	399
1987	1,9	761	12,7	468
1988	4,7	673	15,5	403
1989	6,4	686	15,3	339
1990	5,3	715	13,0	337
1991	6,2	712	15,5	275
1992	6,4	503	16,2	191
1993	4,9	650	13,0	350
1994	5,3	615	15,8	334
1995	5,0	682	14,9	214
1996	4,1	556	13,7	196
1997	4,8	774	15,2	259
1998	3,6	759	14,0	376
1999	5,0	589	15,9	227
2000	5,6	924	13,5	571
2001	4,4	691	15,2	299
2002	4,6	459	15,5	151
2003	4,5	707	14,3	268
2004	4,5	743	14,5	407

Таблица 13

**Линейная зависимость текущего прироста  
от средней температуры за год и суммы осадков за год,  $y=4,08+0,52tв+0,006S$**

ПП 10-3							
Год	Климатические показатели				Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га в год, $\acute{y}_i$	Текущий прирост по уравнению, м <sup>3</sup> /га, $y$	$(\acute{y}_i-y)^2$
	Средняя за год, тв, °С	Сумма осадков за год, мм	Средняя за вегетационный период, тв, °С	Сумма осадков за вегетационный период, мм			
1970	3,3	734	14,2	375		10,2	
1971	3,8	627	13,5	201		9,8	
1972	4,8	559	16,3	226		9,9	
1973	3,9	654	14,0	269		10,0	
1974	5,0	815	14,4	432		11,6	
1975	5,4	675	14,5	208		10,9	
1976	1,9	638	12,1	321		8,9	
1977	3,7	644	13,3	269		9,9	
1978	2,3	653	12,8	349	10,4	9,2	1,454436
1979	3,8	538	14,2	241		9,3	
1980	3,0	747	14,1	332		10,1	
1981	4,2	681	14,4	272		10,4	
1982	4,2	631	13,2	347		10,1	
1983	5,1	737	14,4	225	13,8	11,2	7,001316
1984	4,5	598	13,6	298		10,0	
1985	2,5	650	13,8	335		9,3	
1986	3,8	763	13,7	399		10,6	
1987	1,9	761	12,7	468		9,6	
1988	4,7	673	15,5	403	11,8	10,6	1,532644
1989	6,4	686	15,3	339		11,5	
1990	5,3	715	13,0	337		11,1	
1991	6,2	712	15,5	275		11,6	
1992	6,4	503	16,2	191		10,4	
1993	4,9	650	13,0	350	9,2	10,5	1,763584
1994	5,3	615	15,8	334		10,5	
1995	5,0	682	14,9	214		10,8	
1996	4,1	556	13,7	196		9,5	
1997	4,8	774	15,2	259		11,2	
1998	3,6	759	14,0	376	9,4	10,5	1,223236
1999	5,0	589	15,9	227		10,2	
2000	5,6	924	13,5	571		12,5	
2001	4,4	691	15,2	299		10,5	
2002	4,6	459	15,5	151		9,2	
2003	4,5	707	14,3	268	9,2	10,7	2,137444
2004	4,5	743	14,5	407		10,9	

Дисперсия  $\sigma^2(y)$ 

$$y_1 = 10,4$$

$$y_2 = 13,8$$

$$y_3 = 11,8$$

$$y_4 = 9,2$$

$$y_5 = 9,4$$

$$y_6 = 9,2$$

$$\Sigma(\acute{y}_i-y)^2=15,11266$$

$$F=5,037553333$$

$$\sigma^2(y) = 3,414667$$

Такая система может быть решена приближенно на основе метода наименьших квадратов. В результате она преобразуется в определенную систему уравнений вида:

$$\begin{cases} na_0 + \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k} a_1 + \sum_{k=1}^n S_k a_2 = \sum_{k=1}^n y_k \\ \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k} a_0 + \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k}^2 a_1 + \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k} S_k a_2 = \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k} y_k \\ \sum_{k=1}^n S_k a_0 + \sum_{k=1}^n t_{\epsilon k} S_k a_1 + \sum_{k=1}^n S_k^2 a_2 = \sum_{k=1}^n S_k y_k \end{cases}$$

Расчеты были проведены в среде Microsoft Excel. Полученные результаты представлены в табл.13.

Оценка адекватности полученного математического уравнения производится с помощью остаточной дисперсии  $\sigma_{ocm}^2$ , характеризующей рассеяние экспериментальных точек относительно уравнения регрессии (Гуров, 2005):

$$\sigma_{ocm}^2 = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y)^2, \text{ где}$$

$\sigma_{ocm}^2$  – остаточная дисперсия;

$\sigma^2(y)$  – дисперсия данных, полученных опытным путем;

$N$  – количество экспериментов (в нашем случае 6);

$m$  – количество исследуемых параметров (в нашем случае 3);

$\hat{y}_i$  – данные, полученные опытным путем;

$y$  – данные, полученные по уравнению регрессии.

Величина критерия Фишера  $F = \sigma_{ocm}^2 / \sigma^2(y)$  сравнивается с критическим значением F-распределения  $F_{кр}$ , полученным при заданном уровне значимости и степенях свободы (в нашем случае  $F_{кр} = 4,76$ ). Если  $F \leq F_{кр}$ , то гипотеза об адекватности принимается. В противном случае гипотеза отвергается.

В данном случае (табл.13) расчетная величина критерия Фишера  $F=5,04$ . Это свидетельствует о том, что данные математические модели являются неадекватными.

Далее была рассмотрена квадратичная модель в общем виде:

$$y = a_0 + a_1 t_{\epsilon} + a_2 S + a_3 t_{\epsilon}^2 + a_4 S^2 + a_5 t_{\epsilon} S.$$

Коэффициенты модели определяются из решения системы уравнений

$$y_k = a_0 + a_1 t_{\epsilon k} + a_2 S_k + a_3 t_{\epsilon k}^2 + a_4 S_k^2 + a_5 t_{\epsilon k} S_k, \quad k=1,2,3,4,5,6.$$

Система имеет единственное решение и дает для всех опытных данных полностью совпадающие значения (опытные и теоретические). Однако аппроксимация для промежуточных данных теряет смысл (табл.14).

Таблица 14

**Квадратичная зависимость в общем виде текущего прироста от средней температуры за год  $t_v$  и суммы осадков за год  $S$ ,  
 $y = -13357,9 + 363,9t_v + 35,4S + 63,7t_v^2 - 0,02S^2 - 1,26t_vS$**

ПП 10-3						
Год	Климатические показатели				Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га в год	Текущий прирост по уравнению, м <sup>3</sup> /га в год
	Средняя за год, $t_v$ , °С	Сумма осадков за год, мм	Средняя за вегетационный период, $t_v$ , °С	Сумма осадков за вегетационный период, мм		
1970	3,3	734	14,2	375		63,4
1971	3,8	627	13,5	201		-184,2
1972	4,8	559	16,3	226		-350,6
1973	3,9	654	14,0	269		-86,3
1974	5,0	815	14,4	432		-285,4
1975	5,4	675	14,5	208		124,6
1976	1,9	638	12,1	321		1,0
1977	3,7	644	13,3	269		-124,2
1978	2,3	653	12,8	349	10,4	10,4
1979	3,8	538	14,2	241		-714,7
1980	3,0	747	14,1	332		114,4
1981	4,2	681	14,4	272		-18,8
1982	4,2	631	13,2	347		-136,2
1983	5,1	737	14,4	225	13,8	13,8
1984	4,5	598	13,6	298		-221,8
1985	2,5	650	13,8	335		-33,9
1986	3,8	763	13,7	399		-20,8
1987	1,9	761	12,7	468		419,2
1988	4,7	673	15,5	403	11,8	11,8
1989	6,4	686	15,3	339		375,4
1990	5,3	715	13,0	337		77,6
1991	6,2	712	15,5	275		263,0
1992	6,4	503	16,2	191		-24,3
1993	4,9	650	13,0	350	9,2	9,2
1994	5,3	615	15,8	334		19,1
1995	5,0	682	14,9	214		56,4
1996	4,1	556	13,7	196		-530,0
1997	4,8	774	15,2	259		-103,3
1998	3,6	759	14,0	376	9,4	9,4
1999	5,0	589	15,9	227		-149,2
2000	5,6	924	13,5	571		-1197,0
2001	4,4	691	15,2	299		0,6
2002	4,6	459	15,5	151		-1208,9
2003	4,5	707	14,3	268	9,2	9,2
2004	4,5	743	14,5	407		10,9

В связи с этим принято решение о необходимости учета только одного слагаемого, которое обуславливает совместное влияние двух факторов  $t_b$  и  $S$ . А именно зависимость ищется в виде:

$$y = a_0 + a_1 t_b + a_2 S + a_3 t_b S.$$

С этой целью надо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} na_0 + \sum_{k=1}^n t_{bk} a_1 + \sum_{k=1}^n S_k a_2 + \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k a_3 = \sum_{k=1}^n y_k \\ \sum_{k=1}^n t_{bk} a_0 + \sum_{k=1}^n t_{bk}^2 a_1 + \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k a_2 + \sum_{k=1}^n t_{bk}^2 S_k a_3 = \sum_{k=1}^n t_{bk} y_k \\ \sum_{k=1}^n S_k a_0 + \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k a_1 + \sum_{k=1}^n S_k^2 a_2 + \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k^2 a_3 = \sum_{k=1}^n S_k y_k \\ \sum_{k=1}^n S_k a_0 + \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k a_1 + \sum_{k=1}^n S_k^2 a_2 + \sum_{k=1}^n t_{bk}^2 S_k^2 a_3 = \sum_{k=1}^n t_{bk} S_k y_k \end{cases}$$

Решение систем уравнений производится в среде Microsoft Excel. Как показывают расчеты, модели являются более адекватными, чем предыдущие. Значение статистики Фишера приближенно равно 0,5 (табл.15).

Далее необходимо:

- 1) Провести аналогичные исследования по выявлению зависимости отпада для средней годовой температуры воздуха  $t_b$  и суммы осадков  $S$  за год.
- 2) Провести аналогичные исследования для средней температуры воздуха  $t_b$  и суммы осадков  $S$  за вегетационный период.
- 3) Получить аналогичные математические модели для остальных пробных площадей и вариантов опыта.

Расчеты произведены в среде Microsoft Excel (табл.16, 17).

Анализ полученных результатов (табл.16, 17) позволяет сделать следующие выводы:

- 1) Зависимость между текущим приростом (отпадом) и средней температурой воздуха и суммой осадков и за год, и за вегетационный период выражается уравнением в виде:

$$y = a_0 + a_1 t_b + a_2 S + a_3 t_b S,$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты корреляции;

$t_b$  – средняя температура воздуха за год или вегетационный период, °C;

$S$  – сумма осадков за год или за вегетационный период, мм.

Таблица 15

Квадратичная зависимость в частном виде текущего прироста от средней температуры за год и суммы осадков за год,  $y=99,2-23,2t_{в}-0,135S+0,035t_{в}S$

ПП 10-3							
Год	Климатические показатели				Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га в год, $\dot{y}_i$	Текущий прирост по уравнению, м <sup>3</sup> /га, $y$	$(\dot{y}_i - y)^2$
	Средняя за год, тв, °С	Сумма осадков за год, мм	Средняя за вегетационный период, тв, °С	Сумма осадков за вегетационный период, мм			
1970	3,3	734	14,2	375		8,5	
1971	3,8	627	13,5	201		10,0	
1972	4,8	559	16,3	226		6,6	
1973	3,9	654	14,0	269		10,0	
1974	5,0	815	14,4	432		16,2	
1975	5,4	675	14,5	208		10,8	
1976	1,9	638	12,1	321		11,5	
1977	3,7	644	13,3	269		10,1	
1978	2,3	653	12,8	349	10,4	10,3	0,003171861
1979	3,8	538	14,2	241		10,2	
1980	3,0	747	14,1	332		7,4	
1981	4,2	681	14,4	272		10,2	
1982	4,2	631	13,2	347		9,6	
1983	5,1	737	14,4	225	13,8	13,4	0,199744652
1984	4,5	598	13,6	298		8,6	
1985	2,5	650	13,8	335		10,4	
1986	3,8	763	13,7	399		9,8	
1987	1,9	761	12,7	468		3,0	
1988	4,7	673	15,5	403	11,8	10,4	2,076696035
1989	6,4	686	15,3	339		12,3	
1990	5,3	715	13,0	337		12,8	
1991	6,2	712	15,5	275		14,3	
1992	6,4	503	16,2	191		-4,1	
1993	4,9	650	13,0	350	9,2	9,6	0,162066688
1994	5,3	615	15,8	334		7,7	
1995	5,0	682	14,9	214		10,9	
1996	4,1	556	13,7	196		9,1	
1997	4,8	774	15,2	259		13,8	
1998	3,6	759	14,0	376	9,4	9,1	0,090962086
1999	5,0	589	15,9	227		7,1	
2000	5,6	924	13,5	571		26,2	
2001	4,4	691	15,2	299		10,6	
2002	4,6	459	15,5	151		4,7	
2003	4,5	707	14,3	268	9,2	11,0	3,397924656
2004	4,5	743	14,5	407		11,9	
2004	4,5	743	14,5	407		10,9	

Дисперсия  $\sigma^2(y)$ 

$$y_1 = 10,4$$

$$y_2 = 13,8$$

$$y_3 = 11,8$$

$$y_4 = 9,2$$

$$y_5 = 9,4$$

$$y_6 = 9,2$$

$$\sigma^2(y) = 3,414667$$

$$\Sigma(\dot{y}_i - y)^2 = 5,930565978$$

$$F = 0,578930689$$

Таблица 16

**Зависимость текущего прироста древостоев от средней температуры воздуха и суммы осадков за год и за вегетационный период**

ПП	Год		Вегетационный период	
	Уравнение зависимости текущего прироста от средней температуры воздуха $t_b$ и суммы осадков $S$ за год	Критерий Фишера	Уравнение зависимости текущего прироста от средней температуры воздуха $t_b$ и суммы осадков $S$ за вегетационный период	Критерий Фишера
10-1	$y=40,113-4,456t_b-0,047S+0,007t_bS$	0,74	$y=389,226-26,531t_b-1,049S+0,073t_bS$	0,23
10-2	$y=60,654-14,539t_b-0,081S+0,023t_bS$	0,26	$y=-2,555+1,169t_b+0,004S-0,001t_bS$	0,66
10-3	$y=99,2-23,2t_b-0,135S+0,035t_bS$	0,58	$y=153,629-9,595t_b-0,426S+0,027t_bS$	0,95
11-1	$y=12,037-0,778t_b+0,027S-0,006t_bS$	0,69	$y=-144,7+11,232t_b+0,662S-0,048t_bS$	0,78
11-2	$y=-330,748+83,852t_b+0,465S-0,114t_bS$	0,05	$y=-57,169+4,54t_b+0,338S-0,024t_bS$	0,45
11-3	$y=-162,023+40,777t_b+0,257S-0,06t_bS$	0,21	$y=-145,458+11,074t_b+0,61S-0,043t_bS$	0,15
5-1	$y=8,19-0,38t_b+0,005S-0,0006t_bS$	1,15	$y=16,216-0,525t_b+0,005S-0,0005t_bS$	1,38
5-2	$y=-25,149+6,995t_b+0,049S-0,01t_bS$	0,75	$y=-27,907+2,342t_b+0,092S-0,006t_bS$	0,30
5-3	$y=64,889-11,479t_b-0,08S+0,016t_bS$	0,93	$y=12,866+0,052t_b+0,3S-0,003t_bS$	1,15
12-1	$y=35,361-6,29t_b-0,028S+0,007t_bS$	0,41	$y=3,943+0,309t_b+0,008S-0,006t_bS$	0,65
12-2	$y=7,858+3,96t_b+0,002S-0,006t_bS$	1,19	$y=18,112+0,015t_b+0,06S-0,006t_bS$	0,59
12-3	$y=30,265-5,844t_b-0,03S+0,009t_bS$	0,87	$y=47,907-2,663t_b-0,098S+0,007t_bS$	0,41
6-3	$y=109,7-24,21t_b-0,148S+0,035t_bS$	0,33	$y=39,622-2,301t_b-0,056S+0,004t_bS$	0,99
6-2	$y=92,941-18,543t_b-0,132S+0,029t_bS$	0,19	$y=82,493-4,933t_b-0,261S+0,017t_bS$	0,56
6-6	$y=-13,302+5,569t_b+0,043S-0,011t_bS$	0,66	$y=-103,912+7,834t_b+0,456S-0,032t_bS$	0,15
6-9	$y=79,45-13,85t_b-0,108S+0,021t_bS$	1,02	$y=129,893-7,792t_b-0,389S+0,025t_bS$	0,17
6-5	$y=19,547-1,041t_b-0,01S+0,0005t_bS$	1,46	$y=-149,361+11,097t_b+0,572S-0,04t_bS$	0,59

Таблица 17

**Зависимость отпада древостоев от средней температуры воздуха и суммы осадков за год и за вегетационный период**

ПП	Год		Вегетационный период	
	Уравнение зависимости текущего прироста от средней температуры воздуха $t_b$ и суммы осадков $S$ за год	Критерий Фишера	Уравнение зависимости текущего прироста от средней температуры воздуха $t_b$ и суммы осадков $S$ за вегетационный период	Критерий Фишера
10-1	$y=-116,617+28,526t_b+0,172S-0,04t_bS$	0,26	$y=-345,884+24,141t_b+0,937S-0,064t_bS$	1,31
10-2	$y=-0,676+0,856t_b+0,003S-0,001t_bS$	0,23	$y=19,001-1,215t_b-0,048S+0,003t_bS$	0,76
10-3	$y=-76,4+13,77t_b+0,12S-0,02t_bS$	0,61	$y=-605,761+42,127t_b+1,657S-0,114t_bS$	0,65
11-1	$y=-6,5-0,245t_b+0,015S+0,0007t_bS$	0,12	$y=-44,272+3,504t_b+0,112S-0,008t_bS$	0,22
11-2	$y=13,086-7,116t_b-0,018S-0,011t_bS$	0,26	$y=-27,678+1,968t_b+0,007S+7,906t_bS$	0,27
11-3	$y=37,542-13,384t_b-0,053S+0,02t_bS$	0,39	$y=-3,668+0,171t_b-0,1S+0,008t_bS$	0,05
5-1	$y=-35,721+7,139t_b+0,057S-0,011t_bS$	0,27	$y=24,02-1,753t_b-0,098S-0,008t_bS$	0,35
5-2	$y=-19,438+6,007t_b+0,03S-0,009t_bS$	0,37	$y=-54,369+3,988t_b+0,189S-0,014t_bS$	0,05
5-3	$y=7,175-1,59t_b-0,01S+0,002t_bS$	0,06	$y=2,639-0,158t_b+0,0004S-8,839t_bS$	0,34
12-1	$y=1,98-0,25t_b+0,00095S+0,0004t_bS$	1,55	$y=9,453-0,485t_b-0,006S+0,0004t_bS$	0,81
12-2	$y=3,758-1,111t_b-0,006S+0,002t_bS$	0,82	$y=9,862-0,609t_b-0,052S+0,004t_bS$	0,41
12-3	$y=0,402-0,672t_b+0,0003S+0,001t_bS$	0,54	$y=9,524-0,65t_b-0,029S+0,002t_bS$	0,85
6-3	$y=15,288-3,61t_b-0,02S+0,006t_bS$	0,93	$y=62,304-4,185t_b-0,217S+0,016t_bS$	0,29
6-2	$y=4,623-0,413t_b-0,008S+0,001t_bS$	0,14	$y=-7,286+0,614t_b+0,018S-0,001t_bS$	0,12
6-6	$y=6,192-1,714t_b-0,005S+0,002t_bS$	0,11	$y=13,472-0,92t_b-0,023S+0,002t_bS$	0,01
6-9	$y=1,07-0,263t_b-0,0005S+0,0003t_bS$	1,53	$y=17,977-1,212t_b-0,056S+0,004t_bS$	0,57
6-5	$y=12,283-1,729t_b-0,019S+0,003t_bS$	0,22	$y=-6,719+0,677t_b+0,0149S-0,001t_bS$	0,47

2) Полученные математические модели могут быть использованы для прогнозирования изменений текущего прироста и отпада в сосновых и еловых древостоях. Пример расчета для ПП 10-3 представлен в табл.15, расчеты для пробных площадей ПП 11-3, 5-3, 12-3, 6-5, 6-6 приведены в приложениях 8-30.

3) Анализ текущего прироста, рассчитанного по данной модели за 30 лет по всем пробным площадям (ПП серий 10, 11, 5, 12, 6) и по всем вариантам опыта, подтверждает предположение других исследователей, что на эффективность комплексного ухода оказывают влияние погодные условия в период его проведения и в последующие годы. Комплексный уход, приуроченный к периоду с благоприятными погодными условиями, способствует интенсивному, но относительно кратковременному повышению прироста. Если уход начат в худших условиях, особенно в сухой период, эффект проявляется в меньшей мере, но более длительное время – до 10 лет. Погодные условия влияют на интенсивность круговорота азота, скорость его потребления древостоем и, таким образом, на срок действия удобрения. Именно поэтому при неблагоприятных погодных условиях (засуха, выпадение обильных, затяжных дождей) внесение удобрения рекомендуется отложить до следующего года (Мельников, 1990; Мартынов и др., 1991).

4) Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что удобрения, внесенные в разреженные древостои, ослабляют зависимость изменения таксационных показателей от погодных условий.



# **ГЛАВА 5 СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СОСНОВЫХ И ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ**

## **5.1 Структурные изменения в фитоценозе**

Лесной фитоценоз является сложным объектом исследований системного порядка, который реагирует на воздействие извне всеми своими компонентами. После разреживания и внесения удобрений во всех ярусах происходят внутрискруктурные перестройки, имеющие целью поддержание целостности и устойчивости системы в целом.

Но обусловлена такая реакция не только изменением экологических условий, но и реакцией фитоценоза на возникшую угрозу потери ресурсов и нарушения стабильности биокруговорота. Поэтому реакция всех компонентов фитоценоза направлена на сохранение, возможно скорейшее освоение дополнительных ресурсов, вовлечение их в биокруговорот и восстановление уровня продуктивности системы. Поскольку древостой является основным компонентом фитоценоза, рассмотрим основные направления, причины и закономерности структурных изменений в древостое.

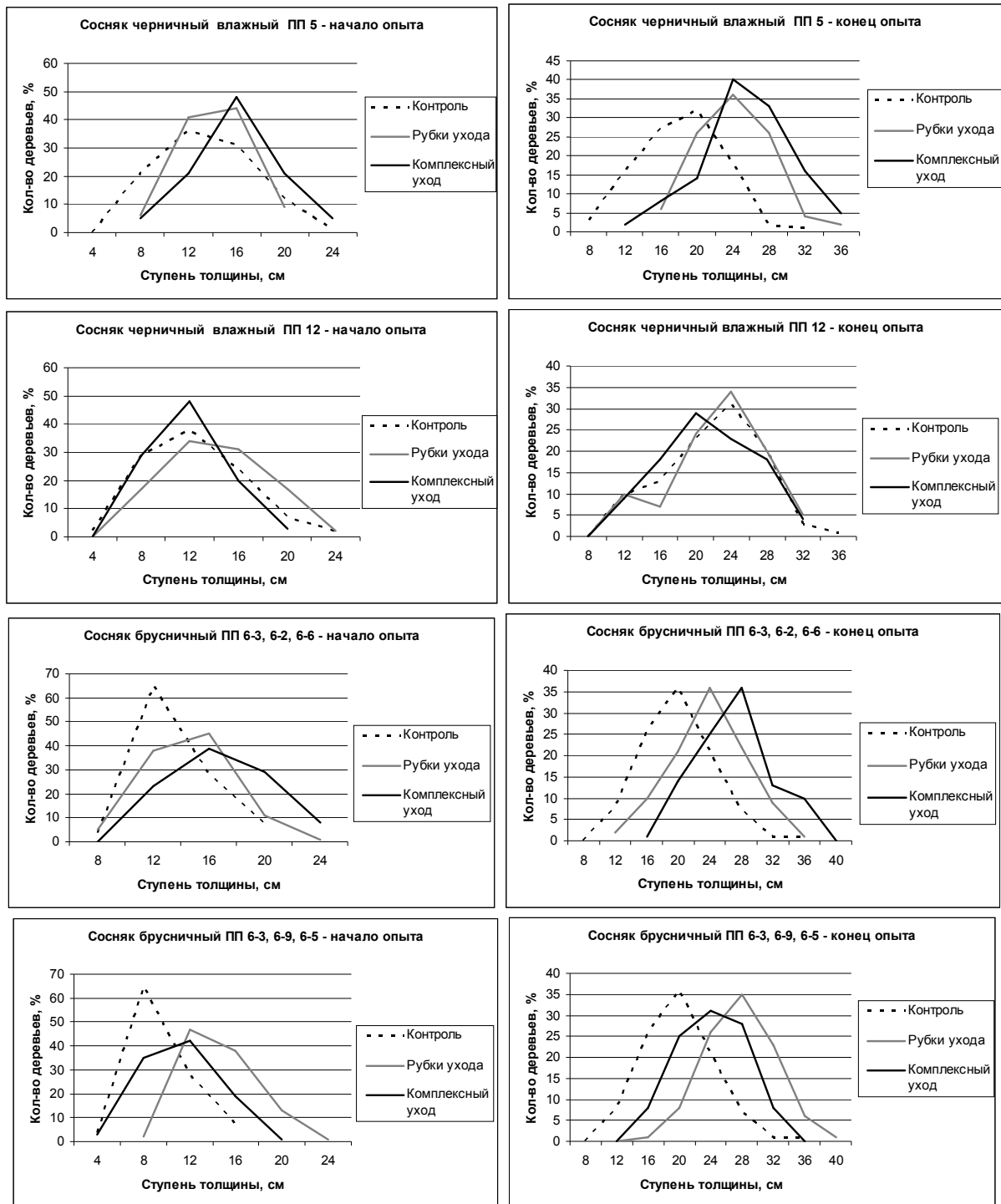
### **5.1.1 Структурные изменения в древостое**

Выявление структурных изменений в сосновых и еловых древостоях под воздействием комплексного ухода осуществляется при анализе рядов распределения деревьев по ступеням толщины (приложения 9-11, рис.14, 15).

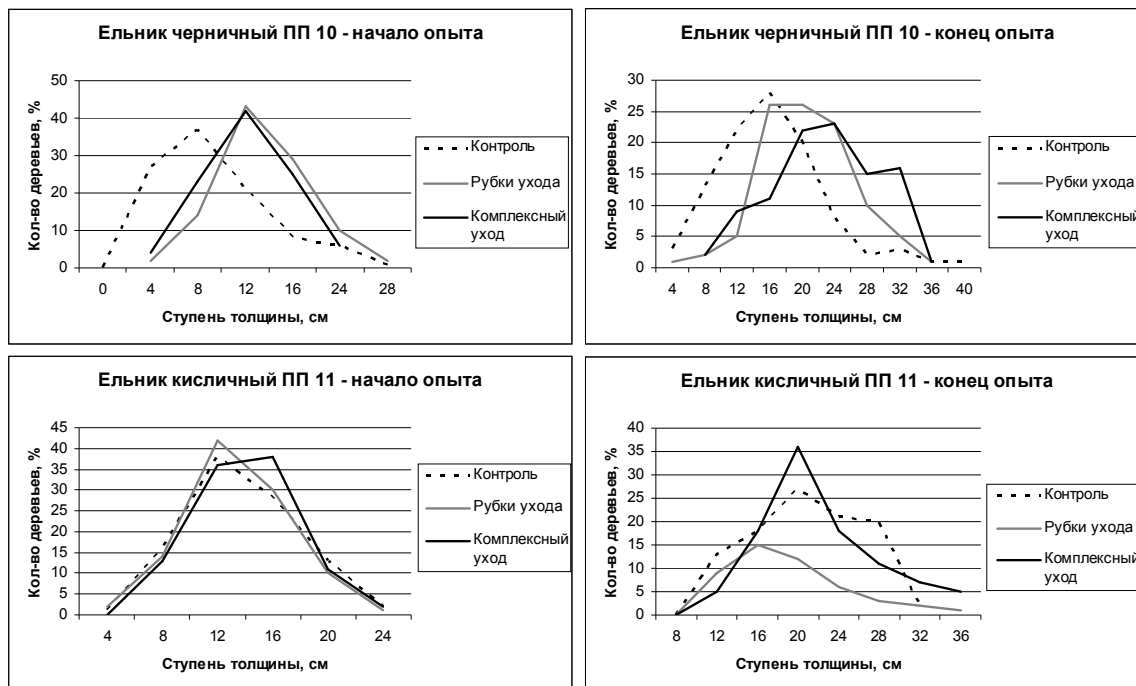
Структура древостоя формируется под воздействием факторов внешней и внутренней среды и закономерно изменяется с его возрастом, а также является результатом генетически обусловленного развития деревьев, действия конкуренции и проявления механизмов устойчивости.

По динамике кривой распределения деревьев и её форме можно попытаться охарактеризовать особенности проявления конкуренции в древостоях, как неподверженных лесохозяйственному воздействию, так и пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом (рис.15, 16).

Для неразрезанных сосняков и ельников (ПП 10-1, 11-1, 5-1, 12-1, 6-3) в начале опыта характерна «высокая» кривая распределения с «узким» основанием, что свидетельствует об однородности древостоя на данных секциях. При этом следует отметить, что чем однороднее древостой, тем сильнее конкуренция.



**Рис.14.** Распределение деревьев по ступеням толщины в сосновых древостоях на начало и конец периода наблюдений



**Рис.15.** Распределение деревьев по ступеням толщины в еловых древостоях на начало и конец периода наблюдений

Усиленная конкуренция в данных насаждениях неизбежно ведет к естественному отпаду отставших в росте деревьев, который является результатом дифференциации в древостое. Вследствие этого изменяется его структура, увеличивается число крупных деревьев и соответственно повышается устойчивость лесной экосистемы. Именно поэтому на конец периода наблюдений кривая распределения становится более «плоской», а ее основание «расширяется» в 1,2 раза, тем самым конкурентная нагрузка более равномерно распределяется по всей структуре древостоя (рис.14, 15).

В ельниках, как разреженных без применения удобрения, так и с применением удобрения (ПП 10-2, 10-3, 11-2, 11-3), ситуация аналогична той, что мы наблюдали в неразрезанных древостоях (рис.15). Это позволяет нам на основе анализа кривой распределения деревьев по ступеням толщины сделать вывод, что и комплексный уход за лесом, и рубки ухода снижают конкуренцию между деревьями в еловых насаждениях. Объяснить это можно толерантной стратегией формирования и развития ельников, которая позволяет им пользоваться дополнительными ресурсами на протяжении длительного времени.

Иная картина наблюдается в сосновых древостоях. В сосняках, пройденных рубками ухода (ПП 5-2, 12-2, 6-2, 6-9), через 5 лет после проведения первого приема рубок, независимо от типа леса, наблюдается одинаковая картина: кривая распределения имеет «сплюснутую» вершину и «широкое» основание (рис.14), что свидетельствует о снижении внутривидо-

вой конкуренции. Подтверждением этого является и сокращение отпада в сосняках в первые годы после разреживания (табл.9). Однако к концу периода наблюдения отпад в разреженных сосняках сильно возрастает (табл.9), несмотря на то, что общая производительность выравнивается с контролем (приложения 1-5). Это отражается и на виде кривой распределения: при наличии «широкого» основания и очертания, близкого к кривой нормального распределения, она имеет «острую» вершину (рис.14), что позволяет сделать вывод об усилении внутривидовой конкуренции. Объяснить это явление можно конкурентной стратегией формирования и развития сосняков, в результате чего они в отличие от ельников быстро расходуют дополнительные ресурсы.

Для сосняков черничных влажных (ПП 5-3 и 12-3), на избыточно увлажненных почвах, пройденных комплексным уходом за лесом, через 5 лет после начала опыта характерна «высокая» кривая распределения с «узким» основанием (рис.14), что свидетельствует, как уже отмечалось выше, об усилении конкуренции в данных насаждениях, которая неизбежно ведет к отпаду отставших в росте деревьев (табл.9). Однако на конец периода наблюдений кривая распределения становится более «плоской», а ее основание «расширяется», тем самым конкурентная нагрузка более равномерно распределяется по всей структуре древостоя, отпад снижается (табл.9) и соответственно повышается устойчивость насаждения благодаря созданию оптимальных условий для роста и развития сосны вследствие «подсушивания почвы» (см. раздел 4.2.3).

В сосняках брусничных (ПП 6-6 и 6-5), пройденных комплексным уходом за лесом, в условиях наиболее оптимальных для роста и развития сосны в подзоне южной тайги, через 5 лет после проведения первого приема ухода, кривая распределения имеет «сплюснутую» вершину и «широкое» основание (рис.14), что свидетельствует о снижении внутривидовой конкуренции. Подтверждением этого является и сокращение отпада в сосняках в первые годы после ухода (табл.9).

На конец периода наблюдения в сосняках брусничных ПП 6-6 (рис.14), где было проведено двукратное разреживание и двукратное внесение удобрения с повторяемостью в 10 лет, кривая распределения деревьев по ступеням толщины имеет хотя и «широкое» основание, но достаточно «острую» вершину. Внесение удобрений в данном случае вызвало «иссушение» почвы (см. раздел 4.2.3), что привело к обострению внутривидовой конкуренции в древостое за влагу и элементы питания и, соответственно, увеличению отпада (табл.9).

В сосняках брусничных ПП 6-5 (рис.14), где было проведено однократное разреживание и трехкратное внесение удобрения с повторяемостью в 5 лет, несмотря на повышенный отпад (табл.9), вызванный, как и в

предыдущем варианте (ПП 6-6), «иссушением» почвы, кривая распределения деревьев по ступеням толщины имеет вид кривой нормального распределения, что позволяет предположить, что правильно выбранный режим комплексного ухода в сосняках, если и не позволяет полностью избежать отпада, то, по крайней мере, способствует равномерному распределению конкурентной нагрузки в древостое, повышая тем самым его устойчивость. Это указывает также на то, что продолжительность эффективного действия минеральных удобрений в сосняках составляет 5-7 лет, что необходимо учитывать при составлении целевых программ комплексного ухода за лесом в сосновых древостоях.

Таким образом, анализ структуры насаждения показывает ослабление конкуренции в древостое и повышение его устойчивости в результате комплексного ухода, но здесь закономерно возникает вопрос: в какой мере увеличивается за период опыта доля крупных и средних деревьев, являющихся наиболее ценными в хозяйственном отношении (табл.16).

Анализ табл.16 показывает, что в еловых древостоях, не подверженных хозяйственному воздействию ПП 10-1 и 11-1, на конец периода наблюдений доля мелких деревьев увеличилась на 11 и 14% соответственно. Произошло это, прежде всего, за счет снижения доли средних деревьев. Данное явление можно объяснить переходом деревьев из ранга в ранг и конкуренцией между ними.

Аналогичная ситуация наблюдается и в ельниках, пройденных рубками ухода, где снижение доли средних и крупных деревьев составило 18% в ельнике черничном ПП 10-2 и 3% в ельнике кисличном ПП 11-2, а доля мелких возросла на 18 и 3% соответственно (табл.16). Это свидетельствует о том, что только рубками ухода невозможно ослабить внутривидовую конкуренцию в данных насаждениях.

В еловых древостоях после комплексного ухода за лесом на конец опыта отмечается некоторое увеличение доли мелких деревьев. Возрастает также и доля крупных деревьев (табл.16).

Однако, в целом, доля средних и крупных деревьев через 30 лет после начала опыта с комплексным уходом в ельнике черничном увеличилась лишь на 5%, а в ельнике кисличном даже уменьшилась на 10%.

Данное явление, видимо, можно объяснить тем, что в ельнике кисличном, с повышенным почвенным плодородием, удобрения сначала стимулируют прирост крупных деревьев. При этом в дальнейшем неизбежно усиливается конкуренция между ними, вызывая их повышенный отпад (табл.9), который, в свою очередь, компенсируется повышением устойчивости отставшей в росте части древостоя.

Таблица 16

**Распределение деревьев по категориям крупности, в %**

Пробная площадь	Начало периода наблюдений				Конец периода наблюдений			
	Мелкие	Средние	Крупные	Средние и крупные	Мелкие	Средние	Крупные	Средние и крупные
<b>Ельник черничный</b>								
10-1 (К)	27	37	36	<b>73</b>	38	28	34	<b>62</b>
10-2 (РУ)	16	72	12	<b>84</b>	34	50	16	<b>66</b>
10-3 (КУ)	27	42	31	<b>73</b>	22	46	32	<b>78</b>
<b>Ельник кисличный</b>								
11-1 (К)	17	68	15	<b>83</b>	31	48	21	<b>69</b>
11-2 (РУ)	16	73	11	<b>84</b>	19	56	25	<b>81</b>
11-3 (КУ)	13	74	13	<b>87</b>	23	54	23	<b>77</b>
<b>Сосняк черничный влажный</b>								
5-1 (К)	21	66	13	<b>79</b>	19	59	22	<b>81</b>
5-2 (РУ)	6	85	9	<b>94</b>	6	88	6	<b>94</b>
5-3 (КУ)	26	48	26	<b>74</b>	20	62	18	<b>80</b>
<b>Сосняк черничный влажный</b>								
12-1 (К)	31	38	31	<b>69</b>	23	53	24	<b>77</b>
12-2 (РУ)	17	64	19	<b>83</b>	17	58	25	<b>83</b>
12-3 (КУ)	29	48	23	<b>71</b>	27	51	22	<b>73</b>
<b>Сосняк брусничный</b>								
6-3 (К)	4	89	7	<b>96</b>	34	57	9	<b>66</b>
6-2 (РУ)	5	83	12	<b>95</b>	12	78	10	<b>88</b>
6-6 (КУ)	23	68	9	<b>77</b>	15	75	10	<b>85</b>
6-9 (РУ)	2	85	13	<b>98</b>	9	84	7	<b>91</b>
6-5 (КУ)	38	42	20	<b>62</b>	8	84	8	<b>92</b>

Примечания:

1. Мелкие деревья –  $D_i/D_{cp} < 0,8$ ; средние деревья –  $0,81 \leq D_i/D_{cp} < 1,20$ ; крупные деревья –  $D_i/D_{cp} \geq 1,21$

2. К – контрольные секции, РУ – секции с рубками ухода, КУ – секции с комплексным уходом.

Несколько иная картина наблюдается в сосновых древостоях.

На контроле в сосняке черничном влажном ПП 5-1 и 12-1 доля средних и крупных деревьев на конец периода наблюдений увеличивается на 2 и 8% соответственно. В сосняке брусничном ПП 6-3 она снижается на

30%, что вероятно, объясняется усиленной конкуренцией за влагу и элементы питания между крупными деревьями в данном типе леса.

После рубок ухода в сосняке черничном влажном ПП 5-2 и 12-2 доля мелких, средних и крупных деревьев на конец опыта не изменилась. Видимо в данном типе леса рубки ухода не вызывают ярко выраженных структурных изменений.

В сосняках брусничных (ПП 6-2 и 6-9) доля средних и крупных деревьев на конец период наблюдений уменьшилась на 7%, прежде всего, за счет увеличения доли мелких деревьев на 7%.

В сосновых древостоях черничного и брусничного типов леса после комплексного ухода (ПП 5-3, 12-3, 6-6, 6-5), доля средних и крупных деревьев на конец периода наблюдений возрастает по сравнению с началом опыта (табл.16). Однако здесь следует отметить, что достигается это за счет уменьшения доли мелких и увеличения доли средних деревьев. Таким образом, еще раз подтверждается предположение, что удобрения в сосняках, в отличие от ельников, стимулируют отпад тонкомерных деревьев 8, 12, 16 ступеней толщины (табл.9), что объясняется конкурентной стратегией формирования и развития сосняков.

Кроме того, это позволяет сделать вывод о том, что удобрения, внесенные в разреженные сосняки, способствуют более равномерному распределению конкурентной нагрузки по всей структуре древостоя, что в свою очередь свидетельствует о возможности повышения устойчивости сосновых древостоев с помощью регулярного комплексного ухода за лесом.

Подводя итоги вышесказанному, в целом, следует отметить, что в сосновых древостоях после комплексного ухода может увеличиться доля средних и крупных деревьев до 1,5 раз. В ельниках увеличивается доля крупных деревьев, но при этом сохраняется значительная доля мелких.

Однако структурные изменения в древостое, вызванные разреживаниями и действием удобрений, связаны не только с процессом его естественной дифференциации. Они проявляются также в текущем изменении соотношения между отдельными фракциями надземной фитомассы - кроновой и стволовой. После рубок ухода нарушается соотношение между массой кроны и ствола, разрастается крона, особенно в первые годы. Удобрение увеличивает прирост ствола и восстанавливает нарушенное соотношение. Изучение этого аспекта не являлось задачей данной диссертационной работы, тем более что он достаточно хорошо освещен в литературных источниках (Мельников, 1999).

В дальнейшем данные, полученные в процессе исследования структурных изменений в сосновых и еловых древостоях южной тайги под воз-

действием рубок ухода и комплексного ухода за лесом были статистически обработаны (табл.17, 18).

Таблица 17

**Статистические показатели на начало и конец периода наблюдений**

Пробная площадь Тип леса	Период наблюдений	$M \pm m_m$ , см	$\Delta M$ , см	$\sigma$ , см	$v$ , %	$P$ , %	A	$m_A$	$t_A$	E	$m_E$	$t_E$
<u>10-1</u> Е черн. К	Начало опыта	9,3±0,2	6,9	4,8	51	2	0,9	0,1	9,0	0,3	0,2	1,5
	Конец опыта	16,2±0,5		6,5	40	3	0,8	0,2	4,0	1,2	0,4	3,0
<u>10-2</u> Е черн. РУ	Начало опыта	13,6±0,3	7,1	4,0	30	2	0,4	0,2	2,0	0,5	0,3	1,7
	Конец опыта	20,7±0,5		5,6	27	2	0,1	0,2	0,5	0,1	0,4	0,3
<u>10-3</u> Е черн. КУ	Начало опыта	12,2±0,2	10,6	3,7	31	2	0,0	0,1	0,1	-0,3	0,3	1,0
	Конец опыта	22,8±0,5		6,5	28	2	-0,2	0,2	1,0	-0,7	0,4	1,8
<u>11-1</u> Е кисл. К	Начало опыта	13,7±0,4	7,2	4,1	30	3	0,2	0,2	1,0	-0,4	0,4	1,0
	Конец опыта	20,9±0,7		5,4	26	3	-0,1	0,3	0,3	-1,0	0,7	1,4
<u>11-2</u> Е кисл. РУ	Начало опыта	13,4±0,4	5,7	3,8	28	3	0,1	0,2	0,5	-0,1	0,5	0,2
	Конец опыта	19,1±0,8		5,8	31	4	0,9	0,4	2,3	0,3	0,7	0,4
<u>11-3</u> Е кисл. КУ	Начало опыта	14,2±0,4	7,9	3,7	26	3	0,2	0,3	0,7	-0,3	0,5	0,6
	Конец опыта	22,1±0,9		5,8	26	4	0,6	0,4	1,5	-0,2	0,7	0,3
<u>5-1</u> С черн.вл. К	Начало опыта	13,4±0,2	4,9	3,9	29	2	0,3	0,1	3,0	-0,7	0,3	2,3
	Конец опыта	18,3±0,4		4,7	26	2	0,1	0,2	0,5	-0,2	0,4	0,5
<u>5-2</u> С черн.вл. РУ	Начало опыта	14,2±0,2	9,8	3,0	21	2	0,0	0,2	0,0	-0,4	0,4	1,0
	Конец опыта	24,0±0,4		4,2	17	2	0,2	0,2	1,0	0,0	0,5	0,0
<u>5-3</u> С черн.вл. КУ	Начало опыта	15,9±0,3	9,6	3,6	23	2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,4	0,1
	Конец опыта	25,5±0,5		5,1	20	2	-0,2	0,2	1,0	0,0	0,5	0,1



Продолжение табл.17

Пробная площадь Тип леса	Период наблюдений	$M \pm m_m$ , см	$\Delta M$ , см	$\sigma$ , см	$v$ , %	$P$ , %	A	$m_A$	$t_A$	E	$m_E$	$t_E$
12-1 С черн.вл. К	Начало опыта	12,3±0,2	9,6	4,0	32	2	0,5	0,1	5,0	-0,1	0,3	0,3
	Конец опыта	21,9±0,4		5,3	24	2	-0,2	0,2	1,0	-0,5	0,4	1,3
12-2 С черн.вл. РУ	Начало опыта	14,2±0,3	8,4	4,1	29	2	0,2	0,2	1,0	-0,7	0,3	2,3
	Конец опыта	22,6±0,4		5,2	23	2	-0,4	0,2	2,0	-0,3	0,4	0,7
12-3 С черн.вл. КУ	Начало опыта	11,9±0,2	9,5	3,1	26	2	0,4	0,2	2,0	-0,4	0,3	1,3
	Конец опыта	21,4±0,4		5,2	24	2	0,0	0,2	0,0	-0,8	0,4	2,0
6-3 С брусн. К	Начало опыта	13,5±0,1	6,5	2,7	20	1	0,9	0,1	9,0	0,8	0,2	4,0
	Конец опыта	20,0±0,4		4,6	23	2	0,5	0,2	2,5	0,6	0,4	1,5
6-2 С брусн. РУ	Начало опыта	14,6±0,2	9,1	3,1	21	2	0,1	0,2	0,5	-0,2	0,4	0,5
	Конец опыта	23,7±0,4		4,8	20	2	-0,1	0,2	0,5	-0,3	0,4	0,7
6-6 С брусн. КУ	Начало опыта	16,9±0,3	10,2	3,6	21	2	0,2	0,2	1,0	-0,8	0,4	2,0
	Конец опыта	27,1±0,5		4,7	18	2	0,2	0,2	1,0	-0,5	0,5	1,0
6-9 С брусн. РУ	Начало опыта	18,6±0,3	9,2	3,1	17	2	0,5	0,2	2,5	-0,2	0,5	0,4
	Конец опыта	27,8±0,5		4,5	16	2	0,1	0,3	0,3	-0,1	0,5	0,2
6-5 С брусн. КУ	Начало опыта	15,2±0,2	8,9	3,2	21	2	0,2	0,2	1,0	-0,5	0,4	1,3
	Конец опыта	24,1±0,4		4,3	18	2	-0,1	0,2	0,5	-0,8	0,4	2,0

Примечания:

1.  $\Delta M$  – разница между величиной среднего диаметра древостоя на конец и начало опыта.
2. К – контроль; РУ – рубки ухода; КУ – комплексный уход за лесом.

Одним из принципов современного лесоводства является принцип количественного подхода, т.е. измерение различных параметров лесного фитоценоза. В данном случае речь пойдет об одном из основных таксационных показателей древостоя – диаметре на высоте 1,3 м от шейки корня

$D_{1,3}$ . Статистический анализ эмпирического материала позволит (Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В. и др. , 2002):

1) Получить обобщающую количественную оценку среднего диаметра в древостое, его варьирование и т.д.

2) Установить достоверность сходства или различия между средним диаметром на контрольных секциях, секциях с рубками ухода и секциях с комплексным уходом.

Для статистического анализа результатов измерений диаметра на высоте 1,3 м от шейки корня  $D_{1,3}$  на разных пробных площадях были использованы ряды распределения деревьев по ступеням толщины (приложения 31-33).

Вариационный ряд характеризуется среднеарифметической величиной (медией) ( $M$ ) и ее ошибкой ( $m$ ), среднеквадратическим отклонением ( $\sigma$ ), коэффициентом вариации ( $v$ ), точностью опыта ( $P$ ), асимметрией ( $A$ ) и ее ошибкой ( $m_A$ ), эксцессом ( $E$ ) и его ошибкой ( $m_E$ ).

Проанализируем результаты статистической обработки данных (табл.17).

По сравнению с древостоями, не подверженными лесохозяйственному воздействию, комплексный уход за лесом и в сосняках, и в ельниках увеличивает средний диаметр древостоя на 2-3 см за 30 лет, или на 1 мм/год (табл.17), что может быть использовано при расчете целевых программ комплексного ухода за лесом (ПП 10-1 и 10-3; 11-1 и 11-3; 5-1 и 5-3; 12-1 и 12-3; 6-3 и 6-6; 6-3 и 6-5).

По сравнению с пробными площадями, пройденными рубками ухода, комплексный уход за лесом в ельниках (ПП 10-2 и 10-3, 11-2 и 11-3) также увеличивает средний диаметр древостоя на 2-3 см за 30 лет (табл.17).

В разреженных и удобренных сосняках (табл.17) длительные опыты показали, что комплексный уход оказывает слабое влияние на средний диаметр древостоя (ПП 5-2 и 5-3; 12-2 и 12-3; 6-2 и 6-6; 6-9 и 6-5). При этом комплексный уход за лесом по сравнению только с рубками ухода улучшает товарную структуру сосновых древостоев, увеличивая долю крупных деревьев, повышает стоимость древесины и соответственно может считаться экономически обоснованным мероприятием для данной породы (Григорьева, 2005).

Однако только медией нельзя отобразить все характерные черты статистической совокупности. Необходимо знать разброс измеряемой величины, в данном случае диаметра древостоя, относительно среднего значения. Для этого был вычислен коэффициент вариации (табл.17).

Коэффициент вариации показывает, что изменчивость вариационного ряда распределения деревьев по ступеням толщины в сосновых и ело-

вых древостоях на начало и конец периода наблюдений не превышает 31% и соответственно является средней. Исключение составляет ельник черничный ПП 10-1 (контроль), где наблюдается большая изменчивость вариационного ряда.

Также следует отметить, что комплексный уход уменьшает коэффициент вариации по сравнению с рубками ухода на 3%, что математически подтверждает вывод о том, что комплексный уход за лесом увеличивает долю средних и крупных деревьев.

Для определения степени отклонения распределения деревьев по ступеням толщины от нормального были вычислены еще два показателя: асимметрия (А) и эксцесс (Е) (табл.17). Показатели асимметрии и эксцесса свидетельствуют о недостоверном отличии эмпирических распределений от нормального, так они не превышают свою ошибку репрезентативности ( $t_A$ ,  $t_E$ ) в 3 и более раз, т.е. распределение деревьев по ступеням толщины можно считать нормальным.

Поскольку одна из гипотез данной работы была о том, что комплексный уход за лесом значительно увеличивает средний диаметр сосновых и еловых древостоев по сравнению с насаждениями, где было проведено только разреживание или уход не проводился вообще, нами была проведена проверка достоверности данной гипотезы по критерию Стьюдента. Результаты расчетов представлены в табл.18. Они свидетельствуют о том, что комплексный уход за лесом существенно увеличивает прирост сосновых и еловых древостоев по диаметру.

Таблица 18

**Расчетные значения t-критерия Стьюдента**

Сравниваемые пробные площади	Критерий Стьюдента, $t_{расч}$	Сравниваемые пробные площади	Критерий Стьюдента, $t_{расч}$	Сравниваемые пробные площади	Критерий Стьюдента, $t_{расч}$
10-3 и 10-1	38,76	5-3 и 5-1	46,04	6-6 и 6-3	45,60
10-3 и 10-2	12,04	5-3 и 5-2	9,08	6-6 и 6-2	20,85
11-3 и 11-1	3,37	12-3 и 12-1	-3,71	6-5 и 6-3	30,17
11-3 и 11-2	7,91	12-3 и 12-2	-8,86	6-5 и 6-9	-22,65
		12-2 и 12-1	5,15	6-9 и 6-3	49,77

Примечание. Табличное значение критерия Стьюдента ( $t_{табл}$ ) равно 1,64 при уровне значимости 5%.

Исключение составили ПП 12-3 и 6-5. Здесь гипотеза оказалась недостоверной, так как, видимо, в сосняке черничном ПП 12-3, на избыточно увлажненных почвах, вносимые минеральные удобрения в большем количестве вымывались по сравнению с другими пробными площадями, а в сосняке брусничном ПП 6-9 была проведена очень сильная рубка ухода (ин-

тенсивность 49%), что, вероятно, более эффективно для данных условий местопроизрастания по сравнению с комплексным уходом (ПП 6-5).

### **5.1.2 Структурные изменения в живом напочвенном покрове**

Живой напочвенный покров является одним из важнейших компонентов лесного биогеоценоза. В результате воздействия извне, например, комплексного ухода за лесом, увеличивается поступление дополнительных ресурсов в фитоценоз. Однако не все из них используются древостоем. Растительность нижних ярусов, перехватывая неустребованные древостоем элементы питания, связывает их и вовлекает в систему малого биокруговорота. В этом проявляется почвозащитная и ресурсосберегающая роль живого напочвенного покрова (Ильина, Балашова, Мальшуков, 1986; Новикова, 1986; Сеннов, 1987; Банева, 1991; Мельников, 1999). Структурные изменения, происходящие в древостое под воздействием комплексного ухода за лесом (см. раздел 5.1.1), ведут к изменениям в структуре живого напочвенного покрова, обеспечивая стабильность биокруговорота элементов питания и, таким образом, повышая устойчивость лесного фитоценоза.

Сравнительный анализ динамики структурных изменений и видового состава напочвенной растительности в сосновых и еловых древостоях дает возможность выявить закономерности в реакции лесной экосистемы на комплексный уход, облегчая тем самым его регламентацию с учетом породы и типа леса.

Результаты учета живого напочвенного покрова представлены в приложениях 12-17. Проанализируем полученные результаты.

**В еловых древостоях кисличного и черничного типов леса** (ПП 10-3, 11-3), комплексный уход способствует развитию растений нитрофилов, например, малины. Это свидетельствует о повышении актуального почвенного плодородия и улучшении условий местопроизрастания данных насаждений. Показателем является величина общей производительности древостоя, которая оказывается на данных пробных площадях на 10-20% выше, чем на контроле (ПП 10-1, 11-1) или в древостоях (ПП 10-2, 11-2), пройденных рубками ухода (табл.5).

В сосняке черничном влажном ПП 5-3, где была проведена двукратная рубка и дважды внесено удобрение с повторяемостью в 10 лет в целом наблюдается снижение доли кустарничков (табл.19) по сравнению с контрольным вариантом и рубками ухода. Однако при этом следует отметить, что происходит постепенная замена черники брусникой.

**Проективное покрытие живого напочвенного покрова в еловых и сосновых  
древостоях через 6 и 17 лет после начала периода наблюдений, %**

№ пробной площади	Кустарнички, %		Травы, %		Мхи, %	
	через 6 лет	через 17 лет	через 6 лет	через 17 лет	через 6 лет	через 17 лет
ПП 10-1	10,0	Учета не было	5,0	Учета не было	31,4	Учета не было
ПП 10-2	5,7		42,3		90,9	
ПП 10-3	10,7		81,4		73,5	
ПП 11-1	1,7	1,3	43,6	51,7	0,1	5,0
ПП 11-2	2,6	6,3	43,6	63,8	2,1	13,0
ПП 11-3	11,99	10,7	77,0	56,3	1,0	9,0
ПП 5-1	60,7	37,8	1,4	4,0	94,0	96,0
ПП 5-2	60,2	29,5	4,6	3,4	88,0	100,0
ПП 5-3	54,3	30,5	10,2	12,1	88,0	98,0
ПП 12-1	47,1	39,6	39,9	59,6	80,0	69,0
ПП 12-2	60,3	57,5	24,8	36,0	81,0	84,0
ПП 12-3	72,4	42,7	26,0	16,3	59,0	94,0
ПП 6-3	Учета не было	48,4	Учета не было	8,8	Учета не было	99,0
ПП 6-2		65,8		56,2		82,0
ПП 6-6		28,5		78,9		58,0
ПП 6-9		51,9		63,9		81,5
ПП 6-5		35,5		78,1		33,0

Примечание. Для составления таблицы использованы данные, полученные сотрудниками лаборатории лесоводства ЛенНИИЛХ Баневой Н.А. и Мельниковым Е.С.

Как уже отмечалось ранее (см. раздел 4.2.3), объясняется это, вероятно, повышением активности мелких корней деревьев после внесения минеральных удобрений в разреженные древостои (Банева, 1985). В результате этого увеличивается всасывающая способность корней, что приводит к «подсушиванию» почвы. Следствием данного процесса и является уменьшение доли черники и увеличение брусники, что в свою очередь свидетельствует об улучшении условий местопроизрастания.

Иная картина наблюдается в **сосняке черничном влажном ПП 12-3, где была проведена однократная рубка и дважды внесены удобрения с повторяемостью в 5 лет.** В противоположность предыдущему варианту комплексный уход за лесом способствовал здесь разрастанию кустарничков (черника, голубика, багульник) по сравнению с контролем и рубками ухода (табл.19). Вероятно, для данного типа леса выбранный режим комплексного ухода не является оптимальным. В практических целях можно рекомендовать в данных условиях местопроизрастания проводить рубки ухода через 10 лет, а удобрения вносить с повторяемостью в 5 лет.

Внесение удобрений в разреженные сосняки брусничные вызывало «иссушение» почвы (см. раздел 4.2.3), что привело к обострению, как

внутривидовой конкуренции, так и межвидовой, т.е. конкуренции между древостоем и растительностью кустарничкового яруса за элементы питания и влагу, и соответственно уменьшению доли кустарничков (табл.19).

На основании вышесказанного в данном типе леса достаточно сложно судить по динамике кустарничкового яруса о возможности повышения интенсивности биокруговорота с помощью комплексного ухода за лесом. В связи с этим проанализируем структурные изменения в травяно-моховом ярусе.

**В сосняках и ельниках на дренированных почвах** (ПП 10-3, 11-3, 6-6, 6-5) после регулярного комплексного ухода наблюдается изменение соотношения между травяным и моховым ярусом в пользу первого (табл.19). Известно, что мхи являются индикаторами замедленного биокруговорота. Это позволяет нам утверждать о более значительном экологическом эффекте комплексного ухода за лесом по сравнению с остальными вариантами опыта. На одних из них моховой ярус значительно преобладает над травяным (ПП 10-1, 10-2, 6-3, 6-2, 6-9, табл.19), на других наблюдается изменение соотношения между травяным и моховым ярусом в пользу первого, но это соотношение значительно ниже, чем в варианте с комплексным уходом (ПП 11-1, 11-2, табл.19).

**В сосняках на избыточно увлажненных почвах** (ПП 5-3, 12-3, табл.19) комплексный уход за лесом приводит к временному уменьшению проективного покрытия мхов по сравнению как с разреженными древостоями (ПП 5-2, 12-2, табл.19), так и незатронутыми рубкой (ПП 5-1, 12-1, табл.19). Таким образом, комплексный уход за лесом, если и не вызывает кардинального изменения в соотношении между травяным и моховым ярусом, то по крайней мере сдвигает это соотношение в пользу первого, что свидетельствует о положительной роли удобрений.

Однако в связи с этим возникает закономерный вопрос, какие компоненты травяного яруса в первую очередь влияют на ослабление позиций мохового. В связи с этим рассмотрим динамику видового состава травяного яруса под воздействием комплексного ухода за лесом.

И в сосняках, и в ельниках после комплексного ухода за лесом наблюдается активное развитие травяного яруса. Однако есть и существенные различия, которые связаны со светолюбием сосны и теневыносливостью ели.

**В сосняках** азотные удобрения стимулируют разрастание злаковой растительности (вейник, луговики), ослабляя позиции мхов.

**В ельниках**, в отличие от сосняков, азотные удобрения стимулируют разрастание разнотравья. В результате усиливается биокруговорот и улучшаются условия произрастания, о чем свидетельствуют таксационные характеристики данных древостоев (приложения 1-5).

Видовой состав живого напочвенного покрова в хвойных древостоях обуславливается лесорастительными условиями: ельники характеризуются большим разнообразием видов и более сложной структурой, чем сосняки.

Таблица 20

**Изменение количества видов живого напочвенного покрова в еловых и сосновых древостоях после рубок ухода и комплексного ухода за лесом**

Пробная площадь	Количество видов, шт.	Увеличение, кол-во раз	Пробная площадь	Количество видов, шт.	Увеличение, кол-во раз
ПП 10-1	18	-	ПП 12-1	18	-
ПП 10-2	23	1,3	ПП 12-2	19	1,1
ПП 10-3	26	1,4	ПП 12-3	17	0,9
ПП 11-1	19	-	ПП 6-3	7	-
ПП 11-2	32	1,7	ПП 6-2	13	1,9
ПП 11-3	29	1,5	ПП 6-6	15	2,1
ПП 5-1	13	-	ПП 6-9	13	1,9
ПП 5-2	16	1,2	ПП 6-5	16	2,3
ПП 5-3	21	1,6			

Однако после комплексного ухода за лесом видовое разнообразие напочвенной растительности увеличивается в 1,5-2 раза (табл.20).

При этом закрепляют свои позиции мезотрофы и ослабляется влияние олиготрофов (табл.21). В ельниках на богатых почвах, при соответствующих лесорастительных условиях (ПП 10-3, 11-3), увеличивается доля растений-мегатрофов (табл.21).

В заключение следует подчеркнуть, что удобрения, вносимые в разреженные древостои, ускоряют восстановительные реакции. Ослабляя конкуренцию и повышая актуальное плодородие почв, они создают благоприятные условия для развития не только древостоя, но и всех ярусов растительности. В результате расширяется спектр видового разнообразия, и соответственно усложняется структура нижнего яруса растительности.

Структурные изменения в ЖНП направлены на усиление почвозащитных и ресурсосберегающих функций и, вместе с тем, они являются естественным следствием ускорения сукцессии. Все это дает основание считать, что применение удобрений, особенно в системе комплексного ухода, экологически обосновано.

Таблица 21

**Распределение растений по требовательности к плодородию и влажности почвы**

Мегатрофы	Мезотрофы	Олиготрофы
<b>Мезофиты</b>		
Вороний глаз, осока лесная, сныть обыкновенная, фиалка Ривиниуса, кислица обыкновенная, медуница лекарственная, купырь лесной, щитовник мужской, перловник поникший, звездчатка дубравная	Майник двулистный, седмичник европейский, брусника, костяника, вероника дубравная, щитовник иголецкий, рамишия однобокая, марьянник луговой, ожика волосистая, черника, плеврочиум Шребера, осока пальчатая, вероника лекарственная, золотая розга, лютик едкий, иван-чай, вейник лесной, птилиум гребенчатый, луговик извилистый, земляника лесная, ландыш лесной, плаун годичный, голокучник Линнея, звездчатка средняя, селезеночник очереднолистный, ветреница дубравная	Вереск обыкновенный, мать-и-мачеха, луговик дернистый
<b>Мезогигрофиты</b>		
Гравилат городской, бор развесистый, кочедыжник женский, мниум точечный, малина	Лютик ползучий	Хвощ лесной, политрихум обыкновенный
<b>Гигрофиты</b>		
	Фиалка болотная, осока черная	Голубика, аулякомниум болотный, пушица влагалищная, осока шаропадная, сфагнум рекурвум, сфагнум остролистный, сфагнум оттопыренный, багульник болотный, ситник нитевидный, касандра, подбел

**5.1.3 Структурные изменения в подросте и подлеске**

Изучение ЖНП показывает, что рубки ухода и особенно комплексный уход за лесом ускоряют сукцессию. Подтверждение этому мы находим и при анализе влияния рубок и удобрений на развитие подлеска и подроста под пологом древостоя.

**В ельнике черничном** ПП серии 10, **ельнике кисличном** ПП серии 11 и **сосняке брусничном** ПП серии 6 ни на контроле, ни в варианте с рубками ухода, ни после комплексного ухода не наблюдается активного



разрастания подлеска в связи с усиленной конкуренцией со стороны древостоя и живого напочвенного покрова. На этих участках подлесок редкий и представлен в основном рябиной, крушиной и ивой, в сосняке брусничном добавляется можжевельник. Это еще раз свидетельствует о том, что основная роль биокруговороте в данных типах леса отведена древостою и живому напочвенному покрову.

**В сосняке черничном влажном** ПП 5-3 и 12-3 после комплексного ухода за лесом заметно разрастается береза. Ее средняя густота здесь составляет около 3 тыс.шт./га, высота 6-7 м. Береза, как очень сильный конкурент, сдерживает развитие подлеска, тем самым, создавая благоприятные условия для появления и роста подроста ели, подтверждая в очередной раз слова Г. Ф. Морозова о роли березы как «няньки ели» (Морозов, 1928).

Теперь остановимся на влиянии комплексного ухода за лесом на появление и рост подроста (табл.22).

Таблица 22

**Количество подроста в сосновых и еловых древостоях по вариантам опыта**

№ пробной площади и вариант опыта	Количество подроста ели, шт./га	Год учета
<u>10-1</u> контроль	2310	1993
<u>10-2</u> двукратная рубка (1974, 1983 гг.)	18237	1993
<u>10-3</u> двукратная рубка (1974, 1983 гг.) + трехкратное удобрение (1974, 1979, 1986 гг.)	24530	1993
<u>11-1</u> контроль	-	2005
<u>11-2</u> трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.)	-	2005
<u>11-3</u> трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.) + двукратное удобрение (1973, 1983 гг.)	-	2005
<u>5-1</u> контроль	955	2005
<u>5-2</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	1186	2005
<u>5-3</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	5250	2005
<u>12-1</u> контроль	1083	2005
<u>12-2</u> рубка (1973 г.)	1175	2005
<u>12-3</u> рубка (1973 г.) + двукратное удобрение (1974, 1977 гг.)	3830	2005
<u>6-3</u> контроль	379	2005
<u>6-2</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	645	2005
<u>6-6</u> двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	912	2005
<u>6-9</u> рубка (1971 г.)	837	2005
<u>6-5</u> рубка (1971 г.) + трехкратное удобрение (1972, 1977, 1982 гг.)	1030	2005

Примечание. Данные ПП серии 10 получены Мельниковым Е.С., ПП серий 11, 5, 12, 6 – при участии автора.

**В ельнике черничном** ПП серии 10 численность подроста ели в варианте с комплексным уходом (ПП 10-3) оказалась в 10,5 раз больше, чем на контроле (ПП 10-1) и в 1,3 раза больше, чем на опытном участке с разреживанием, но без внесения удобрений (табл.22).

Совсем иная картина наблюдается **в ельнике кисличном** ПП серии 11. Возобновления ели здесь не наблюдается ни в одном из вариантов опыта (табл.22). Объяснить данное явление на наш взгляд можно следующими причинами:

1) Высокой сомкнутостью крон и, как следствие, недостаточную освещенностью под пологом леса. Режим освещенности ельников по типам леса имеет некоторые различия (табл.23, (Мельников, 1999)). Установлено, что при одинаковой сомкнутости крон, относительная освещенность под пологом ельников кисличного типа леса меньше, чем под пологом черничного типа. Это связано с тем, что охвоенность ветвей, плотность крон и средняя высота древостоев в кисличниках выше, чем в черничниках (Грязькин, Мельников, 1995; Грязькин, 2001). Как показывают измерения, под пологом ельников кисличного типа леса ПП серии 11 освещенность в 3 раза ниже, чем под пологом ельников черничных ПП серии 10 при сомкнутости крон соответственно 0,800 (94,6% от контроля и 0,687 (92,2% от контроля).

Таблица 23

**Сомкнутость крон и освещенность под пологом еловых древостоев черничного и кисличного типов леса**

№ пробной площади	Сомкнутость крон		Освещенность под пологом	
	относительная	в % от контроля	в люксах	в % от контроля
10-1	0,745	100,0	1106	100,0
10-2	0,692	92,9	2144	193,9
10-3	0,687	92,2	1679	151,8
11-1	0,846	100,0	493	100,0
11-2	0,816	96,5	602	122,1
11-3	0,800	94,6	549	111,4

Примечание. Данные получены Е. С. Мельниковым в 1993 г.

2) В данных лесорастительных условиях удобрения стимулируют развитие ЖНП, и, соответственно, создают условия, препятствующие возобновлению ели под пологом. Но с другой стороны это свидетельствует о том, что многократные удобрения повышают почвенное плодородие и, возможно, будут способствовать переходу из одного типа леса в другой вправо по ряду С в лесотипологической классификации акад. В. Н. Сукачева, например, создадут условия для перехода кисличников в сложные типы леса. И это предположение требует с нашей точки зрения дальнейших исследований.

**В сосняках черничных влажных** ПП серий 5 и 12 численность подроста ели в вариантах с комплексным уходом ПП 5-3 и 12-3 оказалась в 5 и 4 раза больше, чем на контроле (ПП 5-1 и 5-2), в то время как на опытных участках с разреживанием, но без внесения удобрений (ПП 5-2 и 12-2) она практически равна контролю (табл.22).

**В сосняках брусничных** ПП серии 6 (табл.22) численность подроста ели в варианте с комплексным уходом (ПП 6-6 и 6-5) в 2-2,5 раза больше, чем на контроле (ПП 6-3) и в 1,5 раза больше, чем на опытных участках с разреживанием, но без внесения удобрений (ПП 6-2 и 6-9).

При этом в сосняке черничном влажном (ПП 5-3, 12-3) подроста оказалось в 3-4 раза больше, чем в сосняке брусничном (ПП 6-5, 6-6), что связано, на наш взгляд, со способностью минеральных удобрений повышать активность мелких корней, которые в первом случае «подсушивают» почву, а во втором «иссушают» ее. В результате этого улучшаются условия прорастания семян в сосняке черничном и ухудшаются в сосняке брусничном, о чем уже неоднократно говорилось в данной работе.

Таким образом, в целом, можно сделать вывод о том, что **комплексный уход – эффективная мера содействия естественному лесовозобновлению, которая и в сосняках, и в ельниках сдерживает развитие подлеска и, тем самым, способствует появлению подроста.**

В заключение следует подчеркнуть, нам удалось выявить лишь некоторые закономерности влияния комплексного ухода за лесом на естественное возобновление. Однако многие аспекты данного вопроса остаются еще малоизученными. И если учесть, что в настоящее время становятся все более актуальными вопросы о сохранении биоразнообразия и почвенного плодородия, а также повышения устойчивости лесных экосистем, то это направление исследования, на наш взгляд, является достаточно перспективным. Оно требует более детального рассмотрения, поскольку, как показала практика лесного хозяйства и многолетние исследования, наиболее устойчивыми к любому воздействию являются фитоценозы естественного происхождения.

## **5.2 Функциональные изменения в фитоценозе**

Эксперименты с комплексным уходом дают уникальную возможность изучить, с одной стороны, восстановительные реакции лесного биогеоценоза на воздействие извне (разреживание), с другой, особенности биокруговорота, пути и последовательность реализации дополнительных ресурсов (удобрения) в разных его звеньях.

В связи с этим исследования эффективности комплексного ухода за лесом были нацелены на изучение механизмов поддержания целостности и

устойчивости лесных биогеоценозов и структурно-функциональных связей, которые обеспечивают равновесное состояние системы и возврат ее в это состояние после воздействия извне. Исследования проводили по двум направлениям:

1) Изучали структуру лесного фитоценоза: его компоненты, иерархию отношений между ними и слагающими их элементами.

2) Исследовали функциональные изменения в фитоценозе, связанные с выявлением звеньев биокруговорота, их ролью в лесном биогеоценозе, а также с интенсивностью и емкостью биокруговорота.

Структурным изменениям в фитоценозе посвящен раздел 5.1. В данном разделе акцентируется внимание на функциональных изменениях, происходящих под воздействием комплексного ухода за лесом. Критерием оценки изменений в экосистеме будем считать продуктивность, поскольку реализация потенциальной продуктивности в конкретных лесорастительных условиях является важнейшей функцией любой лесной экосистемы.

Регулярные разреживания древостоев и комплексный уход ускоряют сукцессию. Практически все компоненты и ярусы фитоценоза получают дополнительный импульс к развитию. В первую очередь, происходит усиление компонентов и звеньев, посредством которых поддерживается и активизируется биокруговорот. Происходят структурные перестройки в ярусах, усиливают позиции те виды, которые наилучшим образом «отвечают» актуальным «запросам» экосистемы.

В первую очередь азотные удобрения стимулируют биологическую активность почвы. Уже в первый год, с максимумом на 2-5-й годы, после внесения удобрения активизируется деятельность микробоценоза, интенсифицируется разложение почвенной органики и выделение подвижных форм азота. Фонд азотного питания увеличивается не только за счет азота самих удобрений, но и «экстра-азота», т.е. резервного азота, высвободившегося в результате резкого усиления деятельности микробоценоза. Доля «экстра-азота», по расчетам, составляет не менее половины запасов доступных для растений форм азота. Аммонийный азот является элементом большого биокруговорота, так как потребляется, в основном, древостоем. Существует достаточно тесная прямая корреляция его содержания в почве (в весенних образцах) с приростом. Нитратный азот является, главным образом, элементом малого биокруговорота, поскольку потребляется растительностью нижних ярусов, особенно травами. Такая дифференцированность в потреблении ресурсов почвенного азота обеспечивает поддержание жизнеспособности всех компонентов фитоценоза и способствует более длительному и устойчивому эффекту от действия удобрения (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Ресурсосберегающая роль микробиоценоза проявляется в сезонной (осенней) иммобилизации невостробованного растениями азота. Иммобилизация усиливается также по мере освоения древостоем дополнительных ресурсов, особенно заметно – со смыканием полога древостоя (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Почвозащитная, ресурсосберегающая функция в удобренных древостоях проявляется иначе, нежели в неудобренных. Если для разреженных без удобрения насаждений характерно стремление к первоначальной «консервации» высвобожденных ресурсов с последующим постепенным их расходом, то для удобренных – возможно быстрее захват этих ресурсов и вовлечение их в биокруговорот. В последнем случае реакция системы направлена на реализацию возможностей, связанных с повышением актуального плодородия почвы, и, вместе с тем, на сохранение ее потенциала (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Внесение дополнительного азота улучшает условия питания растений, увеличивает ресурсы и энергетический потенциал системы. Если эта энергия привносится в неразрезанный высокопродуктивный древостой, то возможность ее усвоения будет ограничена «емкостью проводника» – древостоем, функционирующего на максимуме своей продуктивности с контролируемыми ее жесткими внутри- и межвидовыми отношениями. Древостой оказывается не в состоянии усвоить эти ресурсы, т.е. реализовать их в приросте, и тогда происходит внутривидовое перераспределение – аккумуляция данных ресурсов в кроновой фитомассе и в ризосфере. Соотношение между кроновой и стволовой фитомассой изменяется в пользу первой, содержание азота в хвое и листьях заметно возрастает. Если древостой был предварительно разрежен, то такой ярко выраженной структурной перестройки не наблюдается (Мельников, 1999). Здесь, на фоне снижения конкуренции в древостое, при лучших условиях освещенности крон усиливается поглощение элементов питания, повышается продуктивность фотосинтеза и резко увеличивается прирост древостоя.

При этом в хвое разреженного и удобренного древостоя фиксируется повышенное содержание азота в течение десятилетия, а в корнях – и более длительный срок (Мельников, 1999). Таким образом, древостой накапливает дополнительные ресурсы (азот), которые вместе с опадом в дальнейшем поступают в почву, постепенно вовлекаются в биокруговорот, используются в том направлении и с такой последовательностью, которые позволяют избежать их потерь и сохраняют тем самым продуктивность и устойчивость лесного биогеоценоза.

Кроме того, удобрения, внесенные в разреженный древостой, ускоряют восстановительные реакции в лесном биогеоценозе в целом, реализу-

ясь, в первую очередь, в тех направлениях, которые являются жизненно необходимыми для экосистемы в данный период.

Первоначально за счет дополнительных ресурсов усиливаются позиции наиболее важных структурообразующих элементов: в древостое это деревья диаметром выше среднего (см. раздел 5.1.1). Вместе с тем, повышается жизнеспособность других элементов, играющих достаточно важную роль в поддержании устойчивости растительного сообщества в целом. В древостое это относится к отставшим в росте деревьям и выражается в повышении их толерантности (особенно это характерно для ели).

В дальнейшем наблюдается временное ослабление роли эдификатора – древостоя, которое компенсируется динамичным развитием нижних ярусов растительности (см. разделы 5.1.2, 5.1.3) и усилением роли малого биокруговорота до тех пор, пока древостой не восстанавливает своих позиций.

В сосняках и ельниках после регулярного комплексного ухода наблюдается изменение соотношения между травяным и моховым ярусом в пользу первого. Активное развитие травяного яруса объясняется изменением экологического режима в результате одновременного разреживания и применения удобрения, а именно, во-первых, снижением конкуренции со стороны древостоя, во-вторых, высвобождением части почвенных ресурсов, и, в-третьих, повышением актуального почвенного плодородия.

В сосняках азотные удобрения стимулируют разрастание злаковой растительности, ослабляя позиции мхов. Увеличение доли злаков в сосновых древостоях после комплексного ухода свидетельствует об интенсификации биокруговорота. Данное явление объясняется биологическими особенностями злаковой растительности, а именно быстрым захватом, связыванием и возвратом элементов питания в почву с опадом, а также образованием дернины, в которой накапливаются связанные элементы питания.

В ельниках, в отличие от сосняков, азотные удобрения стимулируют разрастание разнотравья, также ослабляя позиции мхов.

Везде увеличивают свое присутствие мезо- и мегатрофы, а в ельниках - нитрофилы. Олиготрофы уступают свои позиции, но не исчезают. Данная динамика ЖНП характеризует явное улучшение эдафических условий, но не такое кардинальное, чтобы можно было говорить об изменении типа леса. Это лишний раз подтверждает тот факт, что удобрение «работает в мелком слое» (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Следует отметить, что живой напочвенный покров начинает развиваться под пологом древостоя значительно раньше, чем это наблюдается в ходе естественной сукцессии. И здесь, в первую очередь, проявляется эффект рубки, ослабляющий конкуренцию со стороны древостоя. Пока кон-

куренция в древостое за развитием других ярусов растительности велика, влияние удобрения на эти ярусы проявляется относительно слабо. Но на более поздних возрастных этапах, когда конкуренция в древостое ослабевает, а также в разреженных насаждениях влияние удобрений на комплекс подпологовой растительности проявляется вполне заметно. В целом, удобрение стимулирует лесовозобновительные процессы под пологом древостоев, не препятствуя появлению подроста, повышая его устойчивость и улучшая рост. Такое положение характерно для тех условий, где отсутствует ярко выраженная конкуренция со стороны других ярусов растительности, особенно подлеска, а давление со стороны древостоя ослабевает с возрастом, что и наблюдалось на исследуемых пробных площадях.

Таким образом, система реагирует на разреживание и внесение удобрений всеми своими компонентами (Сеннов, 1984), реакция которых была направлена на сохранение, возможно скорейшее освоение дополнительных ресурсов, вовлечение их в биокруговорот и восстановление уровня продуктивности системы.

При этом эксперименты с удобрениями, особенно в системе комплексного ухода, доказали, что после двух- или трехкратного их применения древостой «закрепляется» на более высоком уровне продуктивности. Такой уровень сохраняется даже по истечении срока эффективного действия удобрения, т.е. за пределами 10-летнего срока после последнего приема внесения удобрения (Мельников, 1999).

Таким образом, удобрения, внесенные в разреженные древостои, способствуют интенсификации биокруговорота в лесном биогеоценозе, повышению его устойчивости и продуктивности, что делает применение комплексного ухода за лесом вполне оправданным мероприятием и с экологической, и с лесохозяйственной точки зрения.

### **5.3 Закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов»**

Проведенные исследования позволяют сделать ряд обобщений и высказать некоторые положения теоретического плана, которые могут быть полезны как для познания механизмов действия удобрений в лесу, так и особенностей взаимоотношений между различными компонентами лесных фитоценозов. Это касается также изучения механизмов устойчивости экосистемы к внешнему воздействию (разреживанию) и роли дополнительных ресурсов (удобрений) в реализации данной функции.

Регулярные разреживания древостоев и внесение удобрений ускоряют сукцессию. В первую очередь азотные удобрения стимулируют биологическую активность почвы. После внесения удобрения активизируется

деятельность микробоценоза, интенсифицируется разложение почвенной органики и выделение подвижных форм азота (Мельников, 1999; Мельников, Люлькович, 2004; Люлькович, 2005).

Внесение дополнительного азота улучшает условия питания растений, увеличивает ресурсы и энергетический потенциал системы (Мельников, 1999). Эта энергия привносится в разреженный древостой, в котором на фоне снижения конкуренции и улучшения условий освещенности крон, усиливается поглощение элементов питания, повышается продуктивность фотосинтеза и резко увеличивается прирост древостоя (см. раздел 4.1, 4.2).

Первоначально за счет дополнительных ресурсов усиливаются позиции наиболее важных структурообразующих элементов: в древостое это деревья диаметром выше среднего. Вместе с тем, повышается жизнеспособность других элементов, играющих достаточно важную роль в поддержании устойчивости растительного сообщества в целом. В древостое это относится к отставшим в росте деревьям и выражается в повышении их толерантности. Особенно это характерно для ели (см. раздел 4.2.2, 5.1.1).

Таким образом, удобрения, применяемые в системе комплексного ухода за лесом, реально повышают общую производительность древостоев (см. раздел 4.1.2.). Однако их возможности в увеличении ограничены. Связано это с тем, что минеральные удобрения, существенно повышая актуальное почвенное плодородие, относительно слабо изменяют потенциальное плодородие. Они оказываются не в состоянии повлиять на весь комплекс лесорастительных условий. Разовая доза вносимого азота, как правило, не превышает годичной потребности фитоценоза, но именно такая доза и является оптимальной. Превышение ее приводит к потерям ресурсов в системе, дисбалансу элементов питания, снижению эффективности ухода за лесом. Результатом внесения удобрения является интенсификация биокруговорота, повышение продуктивности древостоя и фитоценоза. Если же проявляется действие факторов, лимитирующих увеличение прироста, то напряженность ценотических отношений в древостое будет усиливаться, что неизбежно приведет к потерям на отпаде (Мельников, 1999).

В результате наблюдается временное ослабление роли эдификатора – древостоя, которое компенсируется динамичным развитием нижних ярусов растительности и усилением роли малого биокруговорота. Это отражается и на структурно-функциональных связях лесного биогеоценоза.

Каждый компонент или ярус растительности играет свою роль в функционировании лесной экосистемы. Главная роль в фитоценозе, несомненно, принадлежит древостою, через который осуществляется большая доля биокруговорота. Другие ярусы растительности в своем развитии зависят от древостоя. В этом проявляется свойство иерархичности лесной экосистемы.



Эксперименты показали, что удобрения сами по себе не изменяют характера иерархии, хотя и влияют на динамику отношений между ярусами и компонентами фитоценоза. После разреживания и внесения удобрений лесной биогеоценоз начинает реагировать на воздействие извне всеми своими компонентами, в чем проявляется свойство целостности лесной экосистемы. В результате наблюдается изменение структуры фитоценоза, направленное на восстановление, сохранение или повышение его устойчивости. В ярусах происходит внутривидовые перестройки, имеющие целью также поддержание целостности и устойчивости системы в целом (Мельников, 1999).

Удобрения, вносимые в разреженные древостои, ускоряют восстановительные реакции. Ослабляя конкуренцию и повышая актуальное плодородие почв, они создают благоприятные условия для развития не только древостоя, но и всех ярусов растительности. В сосняках и ельниках после регулярного комплексного ухода наблюдается изменение соотношения между травяным и моховым ярусом в пользу первого, что свидетельствует об интенсификации малого биокруговорота. Кроме того, в этих условиях наряду с ранее существовавшими видами начинают активно появляться и развиваться новые (приложения 34-38). В результате усложняется структура и видовое разнообразие и соответственно расширяется ресурсная база, что в совокупности повышает продуктивность и устойчивость лесной экосистемы (см. раздел 5.1.2).

Все вышесказанное позволяет дать экологическую оценку комплексного ухода, анализируя те признаки, которые характеризуют «движение» системы в сторону ее усложнения или упрощения (Мельников, 1999). Удобрения, вносимые в разреженные древостои, ускоряют восстановительные реакции. Ослабляя конкуренцию и повышая актуальное плодородие почв, они создают благоприятные условия для развития не только древостоя, но и всех ярусов растительности. В результате расширяется спектр видового разнообразия, и соответственно усложняется структура нижнего яруса растительности. Все это дает основание считать, что применение удобрений, особенно в системе комплексного ухода, экологически обосновано, поскольку объективно имеет своим результатом усложнение системы.

#### **5.4 Показатели товарной структуры и качества древесины хвойных насаждений, пройденных рубками ухода и комплексным уходом, к возрасту сплошной рубки**

Для изучения влияния комплексного ухода на качественные показатели древесины (ширину годичных слоев и на соотношение поздней и

ранней древесины) был произведен отбор образцов от 30-40 деревьев с помощью приростного бурава образцов древесины на высоте груди в пределах всей серии пробных площадей по 6-8 кернов из каждой ступени толщины древостоя представленной на секциях.

Исходным материалом для дальнейшего изучения послужили 216 кернов древесины на ПП 10, 180 кернов древесины на ПП 6 и 190 кернов на ПП 18. Образцы исследовались на микрофотометрическом анализаторе слоистых структур, с выводом на диаграммную ленту самописца рефлектограммы. Дальнейшие измерения осуществлялись с помощью электронного штангельциркуля с точностью 0,01 мм и размеры ранней и поздней древесины и масштабировались с длиной кернов древесины.

Базисная плотность древесины измерялась методом абсолютной влажности на тех же образцах и пересчитывалась с помощью уравнений регрессии (Полубояринов, 1976) на всю высоту ствола на образцах древесины из каждой ступени толщины, отобранных на опытных объектах по всем секциям. Полученные данные статистически обрабатывались на 5 % уровне достоверности по критерию Стьюдента.

Полученные количественные данные по показателям качества древесины после проведенных измерений приводились к средним показателям по секциям пробных площадей.

Исследования показали, что комплексный уход изменяет структуру древостоя, не снижая при этом качества древесины и даже улучшая его. Количественные и качественные трансформации в структуре древостоя имеют положительную направленность: улучшение товарной структуры древостоя сопровождается улучшением качественных характеристик древесины.

Для получения высококачественного пиловочника сосны необходимо, чтобы в 1 см древесины было не менее 3 и не более 25 годичных слоев (Вихров, 1965; Мельников, 2001). На опытных объектах древесина отвечала этим требованиям: в 1 см насчитывалось порядка 7-18 годичных слоев. После комплексного ухода значимое увеличение средней ширины годичного слоя произошло в смешанном хвойном древостое – 0,97-0,86 мм, в чистом сосняке после рубок ухода – 1,4 мм, что на 30-40% выше контроля. Базисная плотность древесины возросла на объекте комплексного ухода в чистом сосняке, в смешанном древостое произошло ее снижение, но не ниже средних справочных показателей (409 кг/м<sup>3</sup> для Ленинградской области). В целом, исследуемые сосняки отличаются повышенными показателями базисной плотности древесины (табл. 24).

Таблица 24

**Количественные и качественные показатели исследуемых хвойных древостоев**

Показатели	Постоянные пробные площади						
	6-3 К	6-2 РУ	6-5 КУ	6-6 КУ	18-1 К (С)	18-2 КУ (С)	18-3 КУ (С)
Количественные показатели:							
Диаметр средний, см	20	24	28	26	24	22	26
Запас общий, м <sup>3</sup> /га	319	364	390	403	137 (С)	166 (С)	278 (С)
					293	340	522
Масса древе- сины, т/га / %	168 / 100	192 / 114	215 / 128	256 / 152	73 / 100	86 / 117	146 / 200
Качественные показатели:							
Кол-во го- дичных слоев в 1 см	9	7	10	10	18	11	11
Средняя ши- рина годич- ного слоя, мм	1,10	1,40	1,02	1,06	0,55	1,01	0,86
Процент поздней дре- весины	50	48	52	52	38	44	38
Базисная плотность, кг/м <sup>3</sup>	527	526	551	634	535	516	526
	10-1 К	10-2 РУ	10-3 КУ		18-1 К (Е)	18-2 КУ (Е)	18-3 КУ (Е)
Количественные показатели:							
Диаметр средний, см	18	20	26		16	18	20
Запас общий, м <sup>3</sup> /га	338	320	379		156(Е)	174(Е)	244(Е)
					293	340	522
Масса дре- весины, т/га / %	147 / 100	146 / 100	174 / 118		76 / 100	85 / 112	129 / 170
Качественные показатели:							
Кол-во го- дичных слоев в 1 см	9	9	8		12	8	5
Средняя ши- рина годич- ного слоя, мм	1,10	1,12	1,18		0,86	1,0	1,54
Процент поздней древесины	47	52	52		26	29	33
Базисная плотность, кг/м <sup>3</sup>	435	456	458		488	491	527

Примечание. К – контроль, КУ – комплексный уход, РУ – рубки ухода.

Анализируя данные, полученные на пробных площадях с елью, можно видеть, что увеличение запаса после комплексного ухода здесь также не привело к ухудшению качественных характеристик древесины. Средняя ширина годичного слоя после ухода увеличилась на всех исследуемых секциях.

Показатели базисной плотности древесины также повышаются, что подтверждает положительное влияние комплексного ухода на качество древесины.

В целом, базисная плотность ели на исследуемых объектах выше средних табличных данных – 380 кг/м<sup>3</sup> для ельников Ленинградской области (Полубояринов, 1976).

Для целлюлозно-бумажной промышленности одним из наиболее важных технико-экономическими показателей варки является удельный расход древесины на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, получаемой из варочного котла. За условную воздушно-сухую влажность принимают 12 % относительную влажность. Следовательно, в 1 т воздушно-сухой целлюлозы содержится 880 кг абсолютно сухого волокна. Удельный расход плотной древесины на 1 т воздушно-сухой целлюлозы:

$$P = 880 \times 100 / b \gamma,$$

где  $\gamma$  – плотность древесины, абсолютно сухой древесины (кг/м<sup>3</sup>);

$b$  – выход целлюлозы из древесины, %.

Из формулы следует, что удельный расход плотной древесины на 1 т воздушно-сухой целлюлозы обратно-пропорционален ее плотности, т.е. чем меньше выход и плотность древесины, тем больше ее расход (Рачинская, 2006). Следовательно, при равном выходе целлюлозы из древесины на варку ели (плотность – 380 кг/м<sup>3</sup>) потребуется больше древесины, чем на варку сосны (плотность – 516 кг/м<sup>3</sup>). Так для производства 1 т сульфатной целлюлозы из древесины сосны с базисной плотностью 400 кг/м<sup>3</sup> требуется 5,2 м<sup>3</sup> сырья, в то время как при плотности древесины 350 кг/м<sup>3</sup> потребность достигает 6 м<sup>3</sup>. Для древесины ели при уменьшении плотности в указанных пределах потребность в сырье возрастает с 4,8 до 5,5 м<sup>3</sup>/т (Корчагов, 2009).

Кроме того, даже если на предприятии используется древесина одной породы, то нужно учитывать, что ее плотность может сильно колебаться в зависимости от места и условий произрастания, поэтому ее периодически нужно измерять. Для целлюлозно-бумажной промышленности повышение базисной плотности хвойных балансов дает не только экономию в количестве сырья, но и времени провара целлюлозы, что сказывается на конечной себестоимости получаемой продукции.

Таким образом, экономическая эффективность применения комплексного ухода при выращивании балансов должна учитывать этот дополнительный фактор.

На всех секциях с комплексным уходом увеличилась доля выхода крупной и средней древесины (табл. 25).

Таблица 25

**Товарная структура хвойных древостоев на опытных объектах**

	Крупная	Средняя	Мелкая	Дрова	Ликвид	Отходы	Всего
Ель	10-1 (контроль)						
	21	137	104	28	290	48	338
	10-2 (рубки ухода)						
	32	174	60	22	288	32	320
	10-3 (комплексный уход за лесом)						
	48	216	47	27	340	39	379
18-1 (контроль)							
Сосна	10	76	25	7	113	15	137
Ель	2	61	53	20	121	36	156
Σ							293
18-2							
Сосна	16	88	30	12	147	19	166
Ель	10	77	59	11	157	17	174
Сумма							340
18-3							
Сосна	33	157	41	14	248	44	278
Ель	17	127	67	9	220	24	244
Σ							522
6-3 (контроль)							
Сосна	22	150	86	23	281	38	319
6-2 (рубки ухода)							
Сосна	30	214	65	21	330	34	364
6-5 (комплексный уход за лесом)							
Сосна	39	238	47	23	347	43	390
6-6 (комплексный уход за лесом)							
Сосна	51	251	32	25	359	44	403

Этой древесины больше, чем на контроле и в варианте рубок без удобрений. Дополнительный прирост крупной древесины наиболее заметно проявился в чистых древостоях. В смешанных сосново-еловых древостоях преимущество в этом отношении оказывается у сосны: наибольшее увеличение доли крупной древесины наблюдается на секции, где сосна доминирует в составе. Комплексный уход дает выход крупной древесины в хвойных и древостоях в больших размерах, чем после проведения только

рубков ухода (Сеннов, 1980; Кранкина, Сеннов, 1985; Мартынов и др., 1991).

Таким образом, на исследуемых объектах к возрасту рубки спелого насаждения после комплексного ухода сформировались высокопроизводительные древостои с запасом, превышающим контрольные секции. После комплексного ухода возросла доля крупной древесины в товарной структуре древостоев. Древесина хвойных пород имеет положительные изменения в структуре годичных колец, что обуславливает ее улучшенные физико-механические свойства. Возросшие объемные показатели древесины в результате комплексного ухода привели и к увеличению массовых показателей древесины.

В целом, на опытных объектах древесина имеет базисную плотность выше средних показателей для района исследования. Имеется тенденция увеличения базисной плотности древесины, как у ели, так и у сосны в чистых древостоях после комплексного ухода. В смешанном древостое после комплексного ухода базисная плотность древесины ели повышается, у сосны несколько снижается. В целом комплексный уход позволяет получить пиловочные сортименты повышенного качества и балансовое сырьё для целлюлозного производства, отличающееся повышенным выходом конечного продукта, позволяющее экономить время и расходные материалы технологического процесса по изготовлению различных видов бумаги.

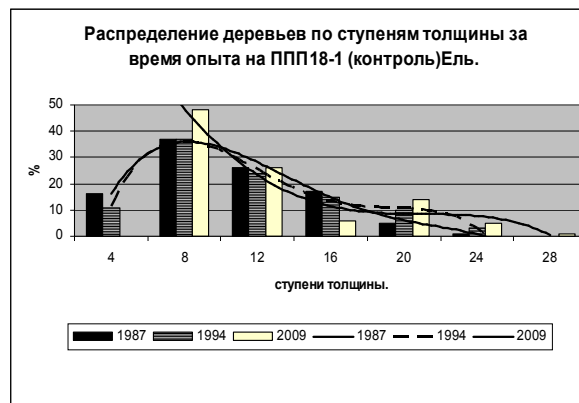
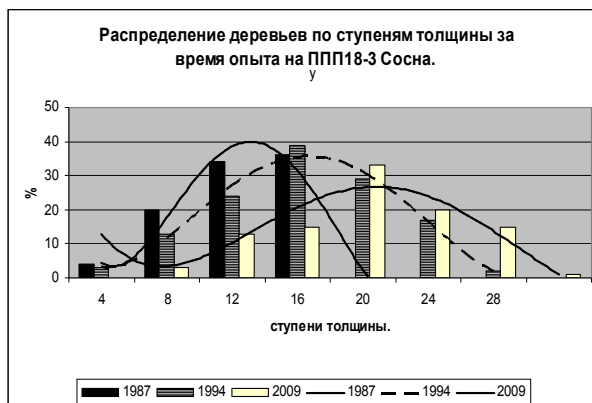
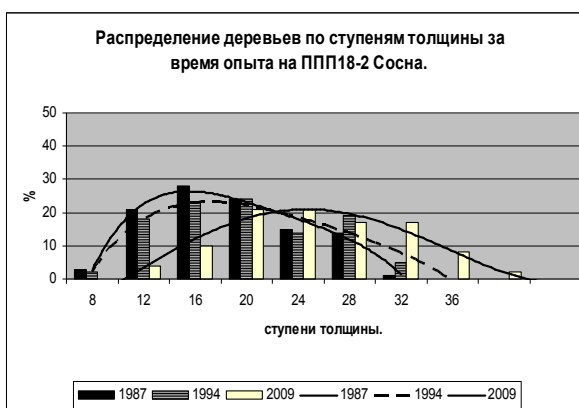
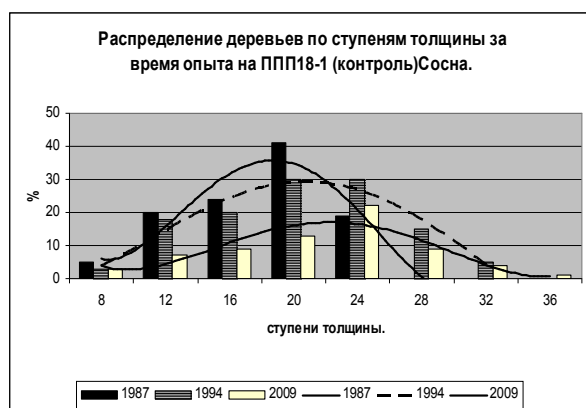
### **5.5 Результаты воздействия комплексного ухода на структуру и качественные показатели древесины сосново-елового древостоя**

Исследование структурных изменений в сосново-еловом древостое под воздействием комплексного ухода, при котором анализировалась динамика развития насаждений и качественные характеристики древесины, показал, что к возрасту сплошной рубки общая производительность оказалась больше на секции 18-3, с преобладанием в составе сосны. По-видимому, внесение фосфора и азота в данный древостой вызвало наибольший отклик у сосны, как пионерной породы по своей стратегии роста.

На секции 18-2 с преобладанием ели к настоящему моменту разница между запасами пород практически не велика. За период исследования подтвердилось, что при комплексном уходе сосна более конкурентоспособна в освоении дополнительных ресурсов, чем ель. Этот эффект характерен и для лиственно-еловых древостоев, но результаты конкуренции между сосной и елью проявляются еще более выражено (Вихров, 1965; Мельников, 2001).

Отпад на контроле и ПП 18-2 больше прироста, на что указывают данные последнего перечета и запаса, а ПП 18-3 сохранилась тенденция увеличения прироста и запаса. В смешанном сосново-еловом древостое межвидовая конкуренция обуславливает специфику дифференциации деревьев в фитоценозе и рядов распределения деревьев по ступеням толщины. Необходимо отметить, что еловый ярус характеризуется некоторой разновозрастностью в своем составе. Изучение отобранных образцов древесины у деревьев ступени толщины 16 см показала, что эта часть древостоя на две трети класса возраста младше более крупных экземпляров.

Меньшие ступени (12 и 8 см) сформировались под пологом основного яруса из подроста ели. Комплексный уход ослабляет конкурентную нагрузку, особенно там, где в составе ель преобладала (ПП 18-2). Ряд распределения здесь более пологий (рис. 17).



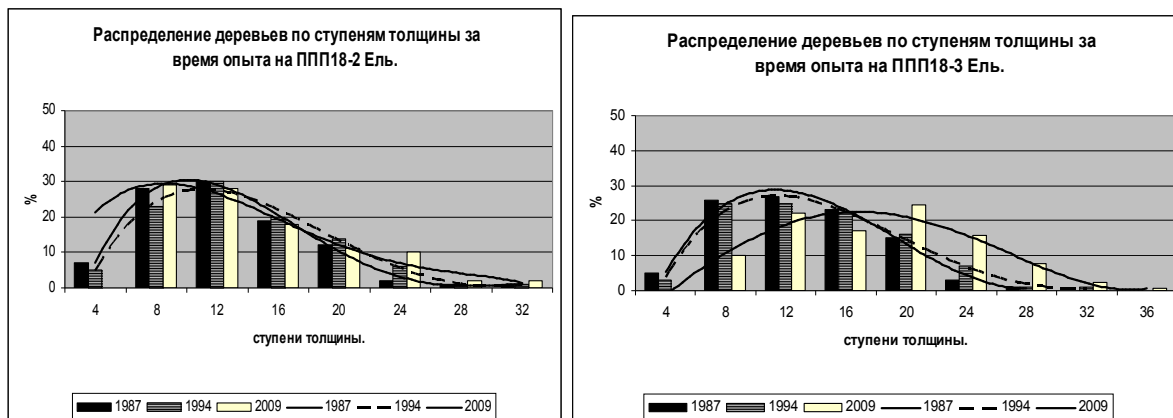


Рис. 17. Распределение деревьев по ступеням толщины за период опыта на ППП 18

Однако средний диаметр у ели выше на секции (ПП 18-3), где преобладает сосна. Это можно рассматривать как реакцию ели на конкуренцию со стороны сосны, которая более активно использует дополнительные ресурсы, соответственно, из-за усиления конкуренции, отставшие в росте деревья ели идут в отпад. На секции с преобладанием ели (ПП 18-2) на данный момент разница по запасу с сосной не велика (приложение 6), что опять указывает на конкурентоспособность сосны.

Анализируя ряды распределения деревьев, можно отметить, что это распределение характеризуется более гармоничными кривыми на ПП 18-3, где изначально сосна преобладала. Для сосны это связано с возрастным развитием и положительным влиянием удобрений на ее рост. В еловом ярусе – это следствие усиленного отпада, отставания в росте части елового яруса (в результате усиленной конкуренции со стороны сосны).

На ПП 18-2, где изначально преобладала ель, она проявила более высокую устойчивость за счет усиления своей толерантности. Удобрение здесь стимулировало не столько повышение прироста, сколько повышение устойчивости ели к конкурентному давлению со стороны сосны.

Анализируя результаты исследования, можно видеть, что комплексный уход приводит к количественным изменениям запаса древесины в древостое и при этом не снижает качественные ее показатели (табл. 26).

Таблица 26

**Количественные и качественные показатели древесины в исследуемых сосново-еловых древостоях к возрасту сплошной рубки**

Количественные показатели и качественные показатели исследуемых древостоев:	Постоянные пробные площади / варианты опыта / породы					
	18-1	18-2	18-3	18-1	18-2	18-3
	контроль		комплексный уход		контроль	
	сосна (С)			ель (Е)		
– диаметр	24	22	26	16	18	20



средний, см;						
– запас об- щий, м <sup>3</sup> ;	137 (С)	166 (С)	278 (С)	156 (Е)	174 (Е)	244 (Е)
	293	340	522	293	340	522
– количест- во годовичных слоев в 1 см;	18	11	11	12	8	5
– средняя ширина го- дичного слоя, мм;	0,55	1,01	0,86	0,86	1,0	1,54
– процент поздней дре- весины, %;	38	44	38	26	29	33
– базисная плотность, кг/м <sup>3</sup> .	535	516	526	488	491	527

Для высокого качественного пиловочника сосны необходимо, чтобы в 1 см было не менее 3 и не более 25 годовичных слоев (Вихров, 1965; Мелехов, 1972). В исследуемом сосново-еловом древостое древесина отвечала этим требованиям (в 1 см 7-18 годовичных слоев). После комплексного ухода значимое увеличение средней ширины годовичного слоя произошло в смешанном хвойном древостое у сосны с 0,55 до 0,86-0,97 мм и у ели с 0,86 до 1-1,54 мм. В смешанном древостое произошло небольшое снижение средней базисной плотности у сосны, но не ниже средних справочных показателей (для Ленинградской области – 409 кг/м<sup>3</sup>). В целом исследуемый древостой отличается повышенными ее показателями.

В еловой части древостоя можно видеть, что увеличение запаса после комплексного ухода не привело к ухудшению качественных характеристик древесины.

Средняя ширина годовичного слоя ели после ухода увеличилась на всех исследуемых секциях.

Показатели базисной плотности ели на исследуемых объектах повысились и в целом оказались выше средних табличных, которые составляют – 380 кг/м<sup>3</sup> для Ленинградской области (Полубояринов, 1976).

На всех секциях с комплексным уходом увеличилась доля выхода крупной и средней деловой древесины (табл.27).

Таблица 27

**Товарная структура древостоя к возрасту сплошной рубки на ППП 18**

Порода	Доля деловой древесины по категориям крупности, м <sup>3</sup> /га						
	Крупная	Средняя	Мелкая	Дрова	Ликвидная	Отходы	Всего
Секция 18-1 (контроль)							
Сосна	10	76	25	7	113	15	137
Ель	2	61	53	20	121	36	156
							293
Секция 18-2 (комплексный уход)							
Сосна	16	88	30	12	147	19	166
Ель	10	77	59	11	157	17	174
							340
Секция 18-3 (комплексный уход)							
Сосна	33	157	41	14	248	44	278
Ель	17	127	67	9	220	24	244
							522

Максимальный дополнительный прирост наблюдается у крупных деревьев сосны. Наибольшее увеличение доли крупной древесины отмечается на секции, где сосна доминирует в составе. Рост доли крупной древесины в товарной структуре имеет также качественную особенность. Крупная древесина имеет выход в основном из комлевой части стволов деревьев, значит, плотность этих сортиментов будет несколько отлична от средней базисной плотности древостоя в целом. На основе опытных данных и результатов исследования базисной плотности древесины можно утверждать, что ее показатели будут тесно связаны с базисной плотностью на высоте груди (1,3 м) и, следовательно, выше средних полученных данных по ней. Благодаря этому полученные сортименты будут обладать повышенными физико-механическими данными. Немаловажен факт увеличения среднего объема хлыста, что способствует уменьшению объема трудозатрат при заготовке леса.

В целом на опытных объектах древесина имеет базисную плотность выше средних показателей для района исследования. Показатели базисной плотности в смешанном древостое после комплексного ухода имеют для ели большие количественные показатели, а для сосны имеется незначительное их снижение.

Таким образом, комплексный уход дает возможность получать пиловочные сортименты с повышенным качеством и балансовое сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, отличающееся повышенным выходом конечного продукта и позволяющее экономить время и расходные материалы технологического процесса по изготовлению различных видов бумаги.

На основании полученных результатов исследований рекомендуем также внести изменения в целевые программы комплексного ухода за со-

сново-еловыми древостоями с преобладанием сосны, произрастающими в черничном типе леса.

В ранее опубликованных программах по уходу за лесом (Кранкина, Сенов, 1985) рассматривались варианты по сосново-еловым древостоям только с рубками ухода (т.е. без внесения удобрений) и по комплексному уходу в чистых сосняках и смешанных хвойно-лиственных древостоях (Мартынов и др., 1991; Мельников, 1999, 2001). Поэтому по результатам исследования смешанного сосново-елового древостоя, пройденного комплексным уходом, можно сделать некоторые рекомендации. Полученные графики распределения стволов по ступеням толщины (рис. 17) и сводные данные по таксационным показателям иллюстрируют ход изменения среднего диаметра, а также выход категорий товарной древесины (табл. 27) в сосново-еловом древостое ППП 18.

Показатель технической спелости древостоя – это целевой диаметр, т.е. средний диаметр древостоя, сортиментная структура которого наилучшим образом соответствует хозяйственной цели.

Полученные результаты применения данного режима комплексного ухода на ПП 18-3 в большей степени соответствуют получению к возрасту сплошной рубки (70 лет) среднего пиловочника.

Ниже приведена целевая программа комплексного ухода за сосново-еловыми древостоями с преобладанием сосны, произрастающими в черничном типе леса, нацеленная на получение соснового среднего пиловочника и еловых балансов (табл.28).

Таблица 28

**Целевая программа комплексного ухода за сосново-еловыми древостоями с преобладанием сосны, произрастающими в черничном типе леса (I бонитет)**

Порода	Целевой сортимент	Возраст рубки спелых и перестойных лесных насаждений	Процент выборки в возрасте, лет					Целевой диаметр, см
			20	30	40	50	60	
С	Пиловочник средний	70	40+ У	У	40+ У	У	У	27
Е	Балансы		40+ У	У	40+ У	У	У	19

Примечание. У – внесение удобрений.

При выращивании целевой породы сосны на крупный пиловочник следует снижать долю ели до 2-3 единиц в составе, так как внесенное удобрение приводит к низовому отпаду ели в результате конкуренции со стороны сосны. Снижение межвидовой конкуренции повышает прирост сосновой части древостоя.

Ниже приведена целевая программа комплексного ухода за сосново-еловыми древостоями с преобладанием сосны, произрастающими в черничном типе леса, нацеленная на получение *соснового крупного пиловочника и еловых балансов* (табл.29).

Таблица 29

**Целевая программа комплексного ухода за сосново-еловыми древостоями с преобладанием сосны, произрастающими в черничном типе леса (I бонитет)**

Порода	Целевой сортимент	Возраст рубки спелых и перестойных лесных насаждений	Процент выборки в возрасте, лет						Целевой диаметр, см
			20	30	40	50	60	70	
С	Пиловочник крупный	80	40+У	40+У	У	30+У	У	У	32
Е	Балансы		40+У	40+У	У	30+У	У	У	22

Примечание. У – внесение удобрений.

Сравнение результатов запасов сосновой и еловой части к возрасту сплошной рубки на ППП 18 это подтверждает. Секция ПП 18-3 с преобладанием сосны выше по запасу, чем секция 18-2, где ели было больше к началу опыта. В практических целях при разреживании древостоя рекомендуется выборка ели на балансовую древесину. При этом более крупные деревья ели и сосны следует оставлять на выращивание крупного и среднего пиловочника к возрасту сплошной рубки.

Кроме того, на секции 18-3 и у сосны, и у ели средний диаметр выше по сравнению с секцией 18-2. Таким образом, необходимо перенаправлять прирост на сосновую часть древостоя при комплексном уходе с целью получения наибольшего прироста к возрасту сплошной рубки. При преобладании в составе ели можно рекомендовать ведение хозяйства на получение балансовой древесины с возрастом рубки 70 лет, так как в дальнейшем может происходить снижение запаса, как на секции 18-2. Полученная балансовая еловая древесина будет иметь повышенную плотность, результаты исследования на ПП 18-2 указывают на эту тенденцию.

Следует отметить, что проводить разреживание при комплексном уходе в смешанных сосново-еловых насаждениях следует не позже 50-летнего возраста древостоя по низовому методу, чтобы не происходило усиления отпада вследствие внесения удобрения.

При этом в зависимости от доли участия сосны и ели в составе древостоя после комплексного ухода по-разному проявляется возраст технической и количественной спелости древесины, что также необходимо учитывать при составлении целевых программ.

Также в сосново-еловом древостое возможна двухприемная длительно-постепенная рубка слабой интенсивности. Первоначально разредить сосновую часть ценоза в целях доращивания еловой части насаждений для получения средней и крупной древесины на пиловочник. Во второй прием выполняется сплошная рубка с оставлением достаточного количества семенников сосны и минерализацией почвы, чтобы тем самым избежать смены сосны елью.

Выборочные рубки в сосново-еловых насаждениях проводить нельзя, так как за этим неминуемо последует нежелательная смена сосны елью.

Резюмируя вышесказанное можно отметить следующие закономерности:

1) Дифференциация деревьев в сосново-еловом насаждении находится под воздействием сосновой части древостоя, поскольку сосна является доминантом с конкурентной стратегией роста.

2) Подбор оптимального соотношения доли сосны и ели должен учитывать, что сосна быстрее осваивает дополнительные ресурсы. Пример этому секция 18-2, где по запасу, сосна почти догнала ель.

3) Наибольшая производительность древостоя зафиксирована на секции 18-3, где сосна преобладает в составе: на ней не происходит снижение прироста и запаса.

4) В целом, в сосново-еловом древостое сосна характеризуется большей производительностью нежели ель.

5) При целевом выращивании долю ели необходимо снижать до 2-3 единиц в составе.

6) Древесина хвойных пород имеет положительную количественную структуру ширины годичного слоя после комплексного ухода, отвечающую повышенным физико-механическим показателям.

7) Рекомендуемые целевые программы комплексного ухода за сосново-еловым древостоем черничного типа леса дает возможность получать пиловочные сортименты с повышенным качеством и балансовое сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, отличающееся повышенным выходом конечного продукта и позволяющее экономить время и расходные материалы технологического процесса по изготовлению различных видов бумаги.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании данной исследовательской работы были получены следующие результаты:

**I) Выявлены общие тенденции и биолого-экологические различия в реакции сосновых и еловых древостоев на воздействие регулярного комплексного ухода за лесом.**

1) Дополнительный прирост древесины после применения комплексного ухода и в еловых, и в сосновых насаждениях формируется в несколько этапов:

– I этап. После 1-го приема данного мероприятия наблюдается быстрое повышение прироста древостоя, что объясняется высвобождением почвенных ресурсов на фоне возрастающей биологической активности почвы.

– II этап. Накопление дополнительных ресурсов одновременно со снижением дополнительного прироста в результате усиленного развития напочвенной растительности, резервирования части ресурсов в ризосфере и структурной перестройки в древостое (изменение соотношения между стволовой, кроновой и подземной фитомассой в пользу двух последних), сопровождающейся энергетическими и ресурсными затратами, и реализация таким образом ресурсосберегающей функции лесной экосистемы.

– III этап. Вовлечение биогеоценозом сохраненных ресурсов в биокруговорот и последующее увеличение дополнительного прироста.

– IV этап. Затухание действия удобрения.

Продолжительность каждого этапа определяется экологическими свойствами сосны и ели, условиями их местопроизрастания и правильно-стью подбора режима комплексного ухода в данных насаждениях.

Как показали исследования, дополнительный прирост формируется, во-первых, за счет увеличения прироста деревьев по диаметру, во-вторых, вследствие более активной положительной реакции на комплексный уход большего числа деревьев, по сравнению с только разреженным вариантом и, в-третьих, за счет сокращения отпада.

Нами были отмечены также колебания дополнительного прироста в сосновых и еловых древостоях. В ельниках они выражены менее, чем в сосняках, что свидетельствует о более стабильном проявлении эффекта от комплексного ухода в этих насаждениях.

Детальный анализ динамики дополнительного прироста за 30 лет в сосновых и еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом, позволил уточнить срок эффективного действия удобрений. В сосняках черничных влажных и брусничных он составляет 5-7 лет, в ельниках

черничных и кисличных – 10-15 лет, что можно объяснить следующими причинами:

– Для сосняков характерна конкурентная стратегия формирования и развития ценоза, поэтому они быстрее расходуют дополнительные ресурсы, тогда как для ельников более свойственна толерантная стратегия, что позволяет ей пользоваться дополнительными ресурсами на протяжении более длительного времени.

– Сосняки произрастают на относительно менее плодородных и малобуферных почвах, быстрее теряющих дополнительный азот, чем ельники, формирующиеся на более плодородных почвах.

– Для сосняков характерно более слабое развитие нижних ярусов и относительно небогатый видовой состав растительности, чем для ельников. Результатом этого является замедленное вовлечение дополнительных ресурсов в систему малого биокруговорота, так как значительно увеличивается время связывания и возврата элементов питания в почву с опадом и, как следствие, снижение дополнительного прироста. В противоположность соснякам, в ельниках обеспечивается более успешное закрепление дополнительных ресурсов в разных компонентах фитоценоза и вовлечение их продукционный процесс и, соответственно, повышение прироста.

2) Комплексный уход за лесом повышает общую производительность и сосновых, и еловых древостоев на 10-20%. При этом для высокопродуктивных ельников кисличных характерен более высокий процент увеличения общей производительности по сравнению с высокопродуктивными сосняками брусничными. Это объясняется более плодородными и буферными почвами, на которых произрастает ель; большей сложностью еловых фитоценозов, позволяющей в лучшей мере реализовать ресурсосберегающие функции системы; толерантностью ельников, обладающих более эффективной стратегией резервирования и использования дополнительных ресурсов. Сосняки в отличие от ельников быстрее расходуют дополнительные ресурсы, и поэтому процент увеличения общей производительности через 30 лет в них ниже.

Для сосняков и ельников черничных процент увеличения общей производительности отличается незначительно (8-12%).

При этом регулярный комплексный уход за лесом позволяет повысить к возрасту главной рубки продуктивность сосновых и еловых насаждений на 30-50%: за счет увеличения общей производительности древостоя на 10-20% и сокращения отпада более чем на 50% по сравнению с контролем.

Смешанные сосново-еловые древостои с преобладанием в составе сосны после комплексного ухода имеют большую продуктивность, чем чистые древостои сосны и ели черничных типов леса.

3) Одной из центральных проблем исследования была проблема устойчивости лесной экосистемы. Под устойчивостью мы понимали способность нарушенной системы возвращаться в прежнее состояние устойчивого равновесия, сохраняя при этом свою структуру и функции.

В нашем исследовании мы рассматривали устойчивость лесного биогеоценоза к разным режимам комплексного ухода за лесом, предполагая, что система должна быть устойчивой к одному режиму и неустойчивой – к другому.

Познать действие механизмов, контролирующей устойчивость лесных фитоценозов, позволяет изучение текущего прироста удобренного древостоя.

Удобрения ускоряют восстановительные процессы в разреженных сосняках и ельниках. Они стимулируют биологическую активность почвы и повышают интенсивность биокруговорота. В результате в удобренных насаждениях происходит не резервирование, а высвобождение почвенных ресурсов и вовлечение их в биокруговорот. Фитоценоз активно использует свободные ресурсы. Энергетический поток усиливается, и дополнительные ресурсы реализуются, в первую очередь, через древостой, в котором, повышается текущий прирост.

Восстановление текущего прироста до уровня контроля в сосняках и ельниках происходит в 1,5-2 раза быстрее, чем при проведении только рубок ухода.

В сосняках и ельниках на протяжении всего периода наблюдений текущий прирост в варианте с комплексным уходом в 1,5-2 раза выше (в высокопродуктивных сосновых древостоях даже в 3-4 раза выше) по сравнению, как с контролем, так и с вариантом, где проводились рубки ухода.

При этом возраст древостоя, в котором наблюдается его наиболее интенсивный прирост, для ельников равен 50-55, для сосняков – 45-50 годам, что в среднем на 5 лет раньше. Данное явление можно объяснить биолого-экологическими свойствами сосны и ели.

Воздействие извне в виде комплексного ухода вызывает изменение характера колебаний текущего прироста в сосновых и еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом. При этом здесь следует отметить два аспекта:

1) Амплитуда колебаний текущего прироста в высокопродуктивном ельнике кисличном в 3 раза больше, чем в остальных древостоях. Объясняется это тем, что колебания тем сильнее, чем меньше вероятность перехода системы (биогеоценоза) на более высокий уровень продуктивности. И, наоборот, чем такая вероятность выше, тем слабее колебания.

2) В еловых древостоях в отличие от сосновых меньше частота колебаний текущего прироста. Это связано с тем, что еловый биогеоценоз



обладает большей емкостью системы и биокруговорота, в которые вливается поток дополнительной энергии по сравнению с сосновым биогеоценозом. Более емкая система быстрее поглощает и гасит колебания.

Таким образом, удобрение разреженных древостоев сглаживает амплитуду колебаний прироста и уменьшает их частоту, т.е. оптимизирует режим питания древесных растений и делает его менее зависимым от внешних и внутренних факторов среды. Такая зависимость характерна как для ельников, так и для сосняков.

4) Судить о характере и напряженности конкурентных отношений в древостое, его устойчивости и, соответственно, успешности того или иного лесохозяйственного мероприятия позволяет анализ величины и структуры отпада в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом.

Отпад за 30 лет и в сосновых и еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом, в 2-3 раза ниже, чем на контроле. Однако по сравнению участками, где проводились только рубки, итоговый отпад за 30 лет в разреженных и удобренных высокопродуктивных древостоях оказался в среднем 1,5 раза выше, что в целом обусловлено интенсификацией биокруговорота и продукционных процессов. При этом в древостоях меньшей продуктивности отпад за 30 лет наблюдений был ниже, чем в сопоставляемых вариантах с рубками ухода. Все это говорит о том, что возможности повышения устойчивости древостоя путем применения удобрений в системе комплексного ухода за лесом ограничены. И эти возможности тем ниже, чем лучше условия местопроизрастания для конкретной породы в данной лесоклиматической зоне.

Таким образом, удобрения, внесенные в разреженные древостои, в целом, способствуют снижению отпада и в сосняках, и в ельниках по сравнению с контрольным вариантом. Однако по сравнению с рубками ухода в высокопродуктивных насаждениях они могут увеличивать отпад. В связи с этим полученные результаты исследования не позволяют сделать однозначный вывод о преимуществах в этой части применения комплексного ухода за лесом по сравнению с рубками ухода ни в сосновых, ни в еловых древостоях.

Следует также отметить, что в сосновых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом, отпаду подвержены, прежде всего, тонкомерные деревья 8, 12 ступени толщины в сосняках II-III классов бонитета и 12, 16 ступеней толщины в сосняках I класса бонитета. Таким образом, удобрения не повышают толерантности и конкурентоспособности отстающей в росте сосны.

В ельниках наблюдается задержка отпада тонкомерных деревьев. Но при этом в них несколько усиливается отпад средних и крупных деревьев

(20, 24, 28 и 32 ступеней толщины). Это еще раз подтверждает мнение многих исследователей (Волков, 1986; Мельников, 1989, 1990, 1999) о том, что прирост мелких экземпляров лимитируется нехваткой света, крупных – недостатком элементов почвенного питания. Таким образом, в разреженных и удобренных ельниках обостряется конкуренция между деревьями-лидерами за дополнительный азот, а отставшая в росте ель реагирует на улучшение режима освещенности. Дополнительное питание улучшает физиологическое состояние последней и способствует повышению ее толерантности. В то же время отпад средних и крупных деревьев, по крайней мере, в первое десятилетие, ослабляет напряженность внутривидовых отношений в древостое.

Такая реакция дает основание более обоснованно ориентировать лесовыращивание в ельниках на балансы, в сосняках же – преимущественно на получение пиловочника.

5) Анализ величины и структуры отпада не позволил нам сделать однозначно положительный вывод о возможности повышения устойчивости сосновых и еловых древостоев с помощью регулярного комплексного ухода за лесом. В то же время исследования интенсивности восстановления текущего прироста показали, что благодаря данному лесохозяйственному мероприятию текущий прирост древостоев и скорость его восстановления до уровня контроля в 1,5-2 раза выше по сравнению с пробными площадями, пройденными только рубками ухода.

В связи с этим для разрешения возникшего противоречия нами был введен такой показатель, который включал бы в себя одновременно и текущий прирост, и отпад. Таким показателем является соотношение величин отпада и текущего прироста в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом.

В разреженных и удобренных ельниках соотношение величин отпада и текущего прироста в среднем в 1,5-2 раза ниже, чем в варианте с рубками ухода. Это позволяет нам с уверенностью говорить о том, что комплексный уход в еловых древостоях повышает упругость лесной экосистемы и, соответственно, устойчивость данных древостоев.

Следует также отметить, что комплексный уход за лесом повышает устойчивость сосновых древостоев на избыточно увлажненных почвах (например, сосняки черничные влажные), но несколько снижает на относительно сухих почвах (например, сосняки брусничники). Это явление можно объяснить повышением активности мелких корней деревьев после внесения удобрения в разреженные древостои и, соответственно, увеличением их всасывающей способности, что в первом случае приводит к «подсушиванию» почвы и созданию оптимальных условий для роста сосняков,

а во втором, наоборот, к ее «иссушению» и усилению внутривидовой конкуренции в древостое.

б) На устойчивость фитоценоза большое влияние оказывает и его структура.

Структура древостоя формируется под воздействием факторов внешней и внутренней среды и закономерно изменяется с его возрастом, а также является результатом генетически обусловленного развития деревьев, действия конкуренции и проявления механизмов устойчивости.

В еловых древостоях после комплексного ухода за лесом на конец опыта отмечается некоторое увеличение доли мелких деревьев. Возрастает также и доля крупных деревьев.

Однако, в целом, доля средних и крупных деревьев через 30 лет после начала опыта с комплексным уходом в ельнике черничном увеличилась лишь на 5%, а в ельнике кисличном даже уменьшилась на 10%.

Данное явление, видимо, можно объяснить тем, что в ельнике кисличном, с повышенным почвенным плодородием, удобрения сначала стимулируют прирост крупных деревьев. При этом в дальнейшем неизбежно усиливается конкуренция между ними, вызывая их повышенный отпад, который, в свою очередь, компенсируется повышением устойчивости отставшей в росте части древостоя. Таким образом, происходит перераспределение конкурентной нагрузки внутри древостоя и тем самым сохраняется его устойчивость.

В ельнике черничном комплексный уход за лесом изначально способствует более равномерному распределению нагрузки по всей структуре древостоя и, соответственно, также повышению его устойчивости.

В сосновых древостоях после комплексного ухода доля средних и крупных деревьев на конец периода наблюдений возрастает по сравнению с началом опыта. Однако здесь следует отметить, что достигается это за счет уменьшения доли мелких и увеличения доли средних деревьев. Таким образом, еще раз подтверждается предположение, что удобрения в сосняках, в отличие от ельников, стимулируют отпад тонкомерных деревьев, что объясняется конкурентной стратегией формирования и развития сосняков.

Кроме того, это позволяет сделать вывод о том, что удобрения, внесенные в разреженные сосняки, способствуют более равномерному распределению конкурентной нагрузки по всей структуре древостоя, что в свою очередь свидетельствует о возможности повышения устойчивости сосновых древостоев с помощью регулярного комплексного ухода за лесом.

Таким образом, в целом, в сосновых древостоях после комплексного ухода может увеличиться доля средних и крупных деревьев до 1,5 раз. В

ельниках увеличивается доля крупных деревьев, но при этом сохраняется значительная доля мелких.

В смешанном сосново-еловом насаждении внесение удобрения, как и в лиственнично-еловом насаждении должно проводиться после снижения в составе доли ели или сосны в зависимости от целевой породы. Сосна, как наиболее конкурентная порода быстрее потребляет дополнительные ресурсы. При возрастании доли сосны в составе происходит отпад ели в меньших ступенях толщины древостоя. При преобладании в составе сосны средний диаметр выше и у сосны и у ели после комплексного ухода.

7) Структурные изменения, происходящие в древостое под воздействием комплексного ухода за лесом, ведут к изменениям в структуре живого почвенного покрова, обеспечивая стабильность биокруговорота элементов питания и, таким образом, устойчивость лесного фитоценоза.

Сравнительный анализ динамики структурных изменений и видового состава почвенной растительности в сосновых и еловых древостоях дает возможность выявить закономерности в реакции лесной экосистемы на комплексный уход, облегчая тем самым его регламентацию с учетом породы и типа леса.

В сосновых древостоях комплексный уход за лесом уменьшает долю кустарничков, а в еловых древостоях способствует появлению растений нитрофилов (малины), что свидетельствует о повышении почвенного плодородия в данных древостоях.

В сосняках и ельниках после регулярного комплексного ухода наблюдается изменение соотношения проективного покрытия травяного и мохового ярусов в пользу первого. Активное развитие травяного яруса объясняется изменением экологического режима в результате одновременного разреживания и применения удобрения, а именно, во-первых, изменением условий освещенности под пологом, во-вторых, снижением конкуренции со стороны древостоя, и, в-третьих, высвобождением части почвенных ресурсов и повышением актуального почвенного плодородия.

В сосняках азотные удобрения стимулируют разрастание злаковой растительности, ослабляя позиции мхов. Увеличение доли злаков в сосновых древостоях после комплексного ухода свидетельствует об интенсификации биокруговорота. Данное явление объясняется биологическими особенностями злаковой растительности, а именно быстрым захватом, связыванием и возвратом элементов питания в почву с опадом, а также образованием дернины, в которой накапливаются связанные элементы питания.

В ельниках, в отличие от сосняков, азотные удобрения стимулируют разрастание разнотравья, при этом доля мхов также уменьшается.

Видовой состав живого почвенного покрова в хвойных древостоях обуславливается лесорастительными условиями: ельники характеризуются

большим разнообразием видов и более сложной структурой, нежели сосняки.

После рубок ухода и комплексного ухода за лесом увеличивается видовое разнообразие напочвенной растительности в 1,5-2 раза. При этом закрепляют свои позиции мезотрофы и ослабляется влияние олиготрофов. В ельниках на богатых почвах увеличивается доля растений-мегатрофов.

8) Изучение ЖНП показывает, что рубки ухода и особенно комплексный уход за лесом ускоряют сукцессию. Подтверждение этому мы находим и при анализе влияния рубок и удобрений на развитие подлеска и подроста под пологом древостоя.

Комплексный уход за лесом стимулирует процесс естественного лесовозобновления в ельниках черничных, сосняках черничных влажных и сосняках брусничных. При этом в ельниках обеспечивается преобладание главной породы (ели) в составе подроста, а в сосняках происходит замена главной породы (сосны) в составе подроста елью.

Естественного лесовозобновления в ельнике кисличном не наблюдается в связи с высокой сомкнутостью крон (0,8), недостаточной освещенностью (94,6% от контроля) под пологом леса и усиленной конкуренцией со стороны древостоя.

В ельниках и сосняке брусничном комплексный уход за лесом сдерживает развитие подлеска, что можно объяснить усиленной конкуренцией со стороны древостоя и живого напочвенного покрова. Тем самым создаются благоприятные условия для появления подроста ели.

В сосняке черничном влажном комплексный уход за лесом способствует разрастанию березы, которая как очень сильный конкурент, также сдерживает развитие подлеска, тем самым, создавая благоприятные условия для появления и роста подроста ели.

Таким образом, в целом, можно сделать вывод о том, что комплексный уход – эффективная мера содействия естественному лесовозобновлению, которая и в сосняках, и в ельниках способствует появлению и росту подроста.

9) Кроме анализа структурных изменений исследования эффективности комплексного ухода за лесом имели своей целью изучение функциональных изменений, связанных, прежде всего, с выявлением звеньев биокруговорота, их ролью в лесном биогеоценозе, а также с интенсивностью и емкостью биокруговорота.

В первую очередь азотные удобрения стимулируют биологическую активность почвы. Фонд азотного питания увеличивается не только за счет азота самих удобрений, но и за счет резервного азота, высвободившегося в результате резкого усиления деятельности микробиоценоза. В результате улучшаются условия питания растений. В разреженном древостое на фоне

снижения конкуренции в древостое, при лучших условиях освещенности крон усиливается поглощение элементов питания, повышается продуктивность фотосинтеза и резко увеличивается прирост древостоя.

Удобрения, внесенные в разреженный древостой, ускоряют восстановительные реакции в лесном биогеоценозе в целом, реализуясь, в первую очередь, в тех направлениях, которые являются жизненно необходимыми для экосистемы в данный период.

Первоначально за счет дополнительных ресурсов усиливаются позиции наиболее важных структурообразующих элементов: в древостое это деревья диаметром выше среднего. Вместе с тем, повышается жизнеспособность других элементов, играющих достаточно важную роль в поддержании устойчивости растительного сообщества в целом. В древостое это относится к отставшим в росте деревьям и выражается в повышении их толерантности (особенно это характерно для ели).

В дальнейшем наблюдается временное ослабление роли эдификатора – древостоя, которое компенсируется динамичным развитием нижних ярусов растительности и усилением роли малого биокруговорота до тех пор, пока древостой не восстанавливает своих позиций.

Таким образом, удобрения, внесенные в разреженные древостои, способствуют интенсификации биокруговорота в лесном биогеоценозе, повышению его устойчивости и продуктивности, что делает применение комплексного ухода за лесом вполне оправданным мероприятием и с экологической, и с лесохозяйственной точки зрения.

## **II) Получены математические модели, характеризующие зависимость продуктивности и устойчивости сосновых и еловых древостоев от климатических показателей.**

На продуктивность и устойчивость насаждений оказывают влияние климатические показатели. Нами были получены математические модели, отражающие причинно-следственные связи между таксационными (текущий прирост и отпад) и климатическими показателями.

Зависимость продуктивности и устойчивости древостоев от климатических показателей выражается в общем виде уравнением:

$$y = a_0 + a_1 t_{\text{в}} + a_2 S + a_3 t_{\text{в}} S,$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты корреляции;

$t_{\text{в}}$  – средняя температура воздуха за год или вегетационный период, °C;

$S$  – сумма осадков за год или за вегетационный период, мм.

Достоверность полученных уравнений проверялась по величине критерия Фишера  $F$ , которая сравнивалась с табличным значением  $F_{\text{табл}}$ , полученным при 5% уровне значимости, степенях свободы, равных количеству экспериментов (в нашем случае 6) и количеству исследуемых параметров

(в нашем случае 3). Если  $F_{расч} \leq F_{табл}$ , то уравнения считались достоверными. В нашем случае все уравнения, рассчитанные для 68 вариантов, оказались достоверными.

Полученные математические модели могут быть использованы для прогнозирования изменений текущего прироста и отпада в сосновых и еловых древостоях.

Анализ текущего прироста, рассчитанного по данным моделям за 30 лет по всем пробным площадям, подтверждает предположение, что на эффективность комплексного ухода оказывают влияние погодные условия в период его проведения и в последующие годы. Комплексный уход, приуроченный к периоду с благоприятными погодными условиями, способствует интенсивному, но относительно кратковременному повышению прироста. Если уход начат в худших условиях, особенно в сухой период, эффект проявляется в меньшей мере, но более длительное время – до 10 лет. Погодные условия влияют на интенсивность круговорота азота, скорость его потребления древостоем и, таким образом, на срок действия удобрения. Именно поэтому при неблагоприятных погодных условиях (засуха, выпадение обильных, затяжных дождей) внесение удобрения рекомендуется отложить до следующего года.

Кроме того, анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что удобрения, внесенные в разреженные древостои, ослабляют зависимость изменения таксационных показателей от климатических факторов.

**III) Выявлены закономерности изменений в системе «Продуктивность – устойчивость – видовое разнообразие лесных фитоценозов» под влиянием комплексного ухода за лесом.**

Целостность лесной экосистемы обусловлена таким важнейшим ее свойством, каким является устойчивость. В свою очередь, устойчивость проявляется через сложную систему структурно-функциональных связей, которые находят свое выражение в иерархичности и динамичности взаимоотношений между компонентами лесных биогеоценозов. Удобрение, как дополнительный ресурс почвенного питания, вовлекается в биокруговорот, интенсифицирует его и последовательно реализуется во всех его звеньях. Усиливая динамику восстановительных процессов в разреженных древостоях, оно, хотя и несколько изменяя, укрепляет иерархию отношений между компонентами лесной экосистемы. Таким путем повышается устойчивость и восстанавливается целостность системы. Лесной фитоценоз выходит на более высокий уровень продуктивности.

**IV) Изучены структурные изменения в строении древесины хвойных пород на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом.**

Анализ товарной структуры и качественных показателей древесины хвойных насаждений, пройденных комплексным уходом и достигших возраста сплошной рубки, показал, что древесина хвойных пород имеет положительные изменения в структуре годичных колец, что обуславливает ее улучшенные физико-механические свойства. В целом, на опытных объектах древесина имеет базисную плотность выше средних показателей для района исследования.

Взросшие объемные показатели древесины в результате комплексного ухода приводят к увеличению весовых показателей древесины, как в чистых хвойных древостоях, так и в сосново-еловых к возрасту сплошной рубки. Комплексный уход позволяет получить пиловочные сортаменты повышенного качества и балансовое сырье для целлюлозного производства, отличающееся повышенным выходом конечного продукта, позволяющее экономить время и расходные материалы технологического процесса по изготовлению различных видов бумаги.

#### **V) Изучены показатели плотности и анатомического строения древесины хвойных пород на объектах ухода за лесом.**

Анализ динамики развития древостоев и качественных характеристик древесины в сосново-еловых древостоях, пройденных комплексным уходом за лесом, позволил выявить ряд закономерностей. Во-первых, после комплексного ухода в черничном типе леса сосновая часть ценоза становится производительнее, чем еловая. Во-вторых, древесина хвойных пород обладает положительной количественной структурой ширины годичного слоя, отвечающей повышенным физико-механическим показателям. В целом после комплексного ухода древесина имеет базисную плотность выше средних показателей для района исследования. В сосново-еловых древостоях показатели плотности древесины зависят от доли участия пород в составе. При преобладании в составе сосны возрастает базисная плотность древесины и сосны и ели после комплексного ухода. Таким образом, комплексный уход дает возможность получать пиловочные сортаменты с повышенным качеством и балансовое сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, отличающееся повышенным выходом конечного продукта и позволяющее экономить время и расходные материалы технологического процесса по изготовлению различных видов бумаги.

#### **VI) Откорректированы программы комплексного ухода за лесом.**

При составлении данных программ за основу брались программы рубок ухода, которые корректировались с учетом дополнительного прироста по среднему диаметру и запасу древостоев, полученного в результате действия удобрения. Как правило, рассчитывались целевые программы, ориентированные на ускоренное получение хозяйственно необходимых



сортиментов или на максимально возможное увеличение выхода требуемой древесной продукции, реже составлялись многоцелевые программы.

Удобрения, вносимые в разреживаемые рубками ухода древостои, ускоряют восстановительные реакции и, таким образом, позволяют более динамично и эффективно корректировать ход роста выращиваемых целевых древостоев. Возможность реального повышения производительности древостоев, увеличения выхода ценной товарной продукции делает удобрения особенно привлекательным элементом системы целевого лесовыращивания. В свою очередь, достоинства удобрений в наибольшей мере могут быть реализованы именно в системах целевого лесовыращивания с полным набором технического и технологического обеспечения.

Результат данной научной работы заключается в корректировке ранее составленных целевых программ комплексного ухода за лесом с учетом биолого-экологических различий в реакции сосны и ели на комплексный уход.

Целевые программы комплексного ухода составлены на основе методических рекомендаций, разработанных в ЛенНИИЛХе (Сеннов, 1978) и периодически корректировались с учетом данных, получаемых при исследованиях (Мельников, 1986, 1990, 1999; Мартынов и др., 1991). При расчете программ использовались таблицы (или эскизы таблиц) хода роста основных и еловых древостоев, регулярно разреживаемых рубками ухода. Таблицы составлены на основе данных, полученных на постоянных пробных площадях (Сеннов, 1977, 1984; Мельников, 1990, 1999).

Показателем, характеризующим достижение древостоем технической спелости, является целевой диаметр, т.е. средний диаметр древостоя, сортиментная структура которого наилучшим образом соответствует хозяйственной цели. Целевой диаметр при получении балансов принят 22 см, среднего пиловочника – 28 см и крупного пиловочника – 32 см. Рассчитаны программы, предусматривающие как сокращение сроков выращивания, так и получение максимального количества продукции к возрасту главной рубки. Программами устанавливается такой режим рубок ухода и внесения удобрений, который позволяет добиться заданной цели с минимумом затрат. Программами задается время начала комплексного ухода, интенсивность и повторяемость разреживаний, сроки внесения удобрений, возраст главной рубки. Указываются контрольные показатели формируемого древостоя: минимальные значения суммы площадей сечения древостоя до и после разреживания при очередном приеме рубки, минимальная густота древостоя в соответствующем возрасте. Помимо рекомендуемого процента выборки по запасу (для высокополнотных древостоев) устанавливается минимальная, экономически обоснованная, интенсивность рубки, показывающая, что меньшая выборка невыгодна, поскольку не позволяет окупить

затрат. Таким образом, программами контролируется не только режим рубок ухода и внесения удобрений, но и показатели формируемых древостоев (Мартынов и др., 1991).

Программы составлялись для насаждений первых трех классов бонитета, поэтому в необходимых случаях при расчетах использовались также таблицы хода роста нормальных древостоев Ленинградской области (Третьяков, Горский, Самойлович, 1952).

На основании результатов исследования по выявлению общих тенденций и различий в реакции сосновых и еловых древостоев на регулярный комплексный уход предлагается внести следующие *уточнения в целевые программы комплексного ухода за лесом*:

- 1) Первый прием комплексного ухода: возраст насаждения – 30 лет.
- 2) Система ухода завершается последним внесением удобрений за 5-10 лет в сосняках и за 10-15 лет в ельниках до главной рубки.
- 3) Двух- или трехприемные рубки ухода: поздние прореживания или ранние проходные; повторяемость рубок: прореживания – 10 лет, проходные рубки – 20 лет; интенсивность рубки 30-35%. В сосняках по сравнению с ельниками можно несколько увеличить интенсивность рубки (в пределах 5%). Интенсивность рубки необходимо корректировать с учетом контрольных показателей древостоя, пройденного рубкой. Если к рекомендуемому сроку очередного приема рубки сумма площадей сечения древостоя не достигла нормативного уровня, то целесообразно отложить рубку и внесение удобрений на 3-5 лет.
- 4) С целью предотвращения ветровала и чрезмерного развития подлеска в ельниках кисличных необходимо сохранять в их составе примесь березы (20-30%) до возраста главной рубки.
- 5) Удобрения следует вносить после разреживания древостоя, лучше весной после схода снегового покрова (аммиачную селитру) или осенью до промерзания почвы и выпадения снега (мочевину). При неблагоприятных погодных условиях (засуха, выпадение обильных, затяжных дождей) внесение удобрения целесообразно отложить до следующего года. Доза вносимого в один прием удобрения – 120-180 кг/га азота (в ельниках 150 кг/га по д.в.). Периодичность повторного внесения азотного удобрения в сосняках – 5 лет, в ельниках – 10 лет. Затяжка с повторным приемом комплексного ухода неизбежно грозит снижением эффекта предыдущих уходов из-за повышенных потерь на отпаде и уменьшения текущего прироста. Особенно нежелательны такие отсрочки в сосняках.
- 6) Рекомендуем увеличить дозу вносимого удобрения в сосняках на избыточно увлажненных почвах до 180 кг/га по д.в. и уменьшить на сухих до 120 кг/га по д.в.

Таким образом, выявленные общие тенденции и различия в реакции сосны и ели на комплексный уход позволят более корректно и дифференцированно планировать уход за этими древостоями. Во-первых, посредством данного мероприятия можно будет выполнить поставленные *хозяйственные задачи*: повысить продуктивность древостоя; сократить сроки получения хозяйственно ценной древесной продукции; увеличить выход древесной продукции с единицы площади.

И, во-вторых, что не менее важно, решить *экологические задачи*: повысить устойчивость насаждений; ускорить восстановление лесных фитоценозов после хозяйственного воздействия на них; сохранить лесную среду и биоразнообразие лесных систем; улучшить средообразующие функции леса и тем самым повысить его социальную роль.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абражко М.А. О влиянии азотных удобрений на распределение и фракционный состав корней *Picea abies* // Ботанический журнал. – 1985. – № 2. – С.250-254.
2. Азиев Ю.Н., Сарнацкий В.В., Рихтер И.Э. Влияние минеральных удобрений и прореживаний на динамику прироста в ельниках мшистом и кисличном // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С.115-116.
3. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В. и др. Методы изучения лесных сообществ. – СПб.: НИИХимии СпбГУ, 2002. – 240 с.
4. Анишин П.А., Черемисов И.Д. Рост ели после рубок в березово-еловых насаждениях // Материалы отчетной годичной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1984 год. – Архангельск, 1985. – С.16-18.
5. Атрохин В.Г. Биоэкологические основы формирования высокопродуктивных насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 179 с.
6. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. и др. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. – М.: Мысль, 1978. – 182 с.
7. Бабич Н.А. и др. Влияние изменчивости анатомических элементов на плотность и прочность древесины сосны в культурах // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства. Всероссийская научно-практическая конференция, сб. статей. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. – С. 188-192.
8. Банева Н.А. Изменение массы и активности мелких корней деревьев при разреживании древостоя и комплексном уходе за лесом: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Л., 1985. – 19 с.
9. Банева Н.А. Восстановление массы корней ели после рубок ухода // Лесоведение. – 1986. – № 3. – С.62-66.
10. Банева Н.А. Влияние проходных рубок на массу корней деревьев в почве волоков // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – Л.: ЛТА, 1990. – С.38-40.
11. Банева Н.А. Динамика живого напочвенного покрова после рубок ухода и удобрения почвы // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – Л.: ЛТА, 1991. – С.11-18.
12. Башкин В.Н., Кудеярова А.Ю. Смыв азота, фосфора и калия с водосборных территорий рек, дренирующих сельскохозяйственные районы // Агрохимия. – 1981. – № 6. – С.36-45.
13. Башкин В.Н. и др. Вынос элементов питания из почв поверхностным стоком в верхней части бассейна р.Оки // Химия в сельском

хозяйстве. – 1980. – № 8. – С.43-47.

14. Безлюдный Н.Н. и др. Миграция азота в профиле дерново-подзолистых почв БССР // Агрохимия. – 1982. – № 6. – С.12-17.

15. Бергаланфи фон Л. Общая теория систем - обзор проблем и результатов // Системные исследования. – М.: Наука, 1969. – С.30-50.

16. Бигон М., Уарпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции, сообщества: В 2-х т. Т.2. – М.: Мир, 1989. – 477 с.

17. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системные исследования и общая теория систем // Системные исследования. – М.: Наука, 1969. – С.7-29.

18. Бочаров И.В. Распределение по высоте ствола дополнительного радиального прироста // Лесное хозяйство. – 1979. – № 9. – С.25-26.

19. Бочаров И.В., Петров В.М. Оценка прироста насаждений под воздействием минеральных удобрений // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование в свете решений XXVI съезда КПСС: Тезисы докл. Всес. научно-практ. конф. – Архангельск, 1983. – С.113-120.

20. Булавик И.М., Победов В.С. Влияние повышенных доз азотных удобрений на прирост древесины в сосновых насаждениях // Лесохозяйственные пути повышения продуктивности лесов БССР. – М., 1985. – С.11-18.

21. Буш К.К., Иевинь И.К. Экологические и технологические основы рубок ухода. – Рига: Зинатне, 1984. – 172 с.

22. Бюсген М. Строение и жизнь наших лесных деревьев. – М.-Л. Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.

23. Валк У.А. Удобрение лесов Северо-Запада страны // Лесное хозяйство. – 1979. – №9. – С.20-22.

24. Великотный А.А. Повышение продуктивности елово-березовых древостоев южной тайги // Итоги и перспективы научных исследований в области лесного хозяйства: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Пушкино, 1979. – С.86-88.

25. Вихров В.Е., Протасевич Р.Т. Прирост древесины сосны в связи с условиями обитания и изменениями погоды // Экология древесных растений. – Минск, 1965. – С. 92-100.

26. Волков А.Д. Об эффективности внесения азотных удобрений в разновозрастных еловых древостоях // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.133-134.

27. Вомперская М.И., Петрова-Спиридонова И.М. Влияние азотных удобрений на содержание азота в хвое и рост ели на осушенных временно переувлажненных почвах // Лесоведение. – 1984. – №2. – С.25-29.

28. Воронкова А.Б. Повышение уровня азотного питания хвойных по-

род с помощью удобрений. // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 88-89.

29. Вярбила В.В., Шлейнис Р.И. Влияние удобрения сосновых насаждений на качество древесины // Лесное хоз-во., №12. – 1981. – С.8-11.

30. Вярбила В. В. Влияние минеральных удобрений на рост и продуктивность сосновых насаждений в связи с колебаниями климата и разреживаниями: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Минск, 1983. – 20 с.

31. Гелес И.С., Шубин В. И. Влияние удобрений на рост сосновых молодняков, свойства древесины сосны и получаемых из нее целлюлозы // Отходы окорки и некоторые направления их комплексного использования. – Петрозаводск: Кар.Ф.АН. СССР Ин.Леса, 1984. – С.127-144.

32. Геодакян В.А. Организация систем - живых и неживых // Системные исследования. – М.: Наука, 1970. – С.49-62.

33. Георгиевский Н.П. Рубки ухода за лесом. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 141 с.

34. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. – М.: Мир, 1967. – 359 с.

35. Григорьева О.И. Формирование рубками ухода сосновых насаждений повышенной устойчивости и ценности в условиях Ленинградской области: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – СПб., 2005. – 20 с.

36. Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. – 99 с.

37. Грязькин А.В., Мельников Е.С. Естественное возобновление ели на участках, пройденных комплексным уходом // Лесной журнал. – 1995. – № 2-3. – С.195-197.

38. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (На примере ельников Северо-Запада России). – СПбЛТА, 2001. – 188 с.

39. Гуман В.В. Рубки главного и промежуточного пользования. – Л.: Изд-во Лен. Сельхоз. Ин-та, 1929. – 172 с.

40. Гуров С.В., Герасин М.Л. Моделирование систем. – Сыктывкар: СЛИ, 2001. – 252 с.

41. Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 184 с.

42. Егорова Р.А. Влияние азотных удобрений на разложение хвойного опада в сосновых биогеоценозах // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.31-32.

43. Желдак В.И. Программа рубок ухода // Лесное хозяйство. – 1989. – №2. – С.17-20.

44. Зонн С. В. Изучение почвы как компонента биогеоценоза // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. –

228 с.

45. Ильина Н.А., Балашова С.С., Мальшуков В.И. Влияние минеральных удобрений на напочвенный покров сосняков южной подзоны тайги // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.45-46.

46. Ильюшенко А.Ф., Кошельков С.П. Изменение прироста в высоту у подроста ели при вырубке полога лиственных пород и при внесении удобрений // Формирование эталонных насаждений. Ч.2: Тезисы докл. Всес. конф. – Каунас-Гирионис, 1979. – С.141-142.

47. Исаева Р.П., Курбатова Г.В., Шахова К.И. Влияние экологических факторов, структуры древостоев и хозяйственных воздействий на плотность древесины основных лесобразующих пород // Лесоводственные основы лесопользования и средообразующая роль лесов Урала. – Свердловск, 1991. – С.155-164.

48. Исаков В.С. Применение минеральных удобрений в лесах. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1971. – 20 с.

49. Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.

50. Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.К. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. – Л.: Наука, 1979. – 216 с.

51. Казимиров Н.И., Горбунова Т.М. Лесоводственная эффективность применения азотных минеральных удобрений // Структура и производительность сосновых лесов на Европейском Севере. – Петрозаводск, 1981. – С. 60-70.

52. Казимиров Н.И., Горбунова Т.М. Дополнительный прирост в сосновых насаждениях при внесении азотных удобрений в связи с возрастом древостоя // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. С.115-116.

53. Казимиров Н.И., Горбунова Т.М. Модель эффективности применения удобрений в сосновых насаждениях // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.125-126.

54. Карпачевский Л.О., Воронин А.Д., Дмитриев Е.А. и др. Почвенно-биогеоценологические исследования в лесных биогеоценозах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 160 с.

55. Кистерная М.В., Аксененкова Я.А. Изменения анатомического строения древесины сосны под влиянием комплекса лесохозяйственных мероприятий // Лесной журнал. – №4, 2007. – 15 с.

56. Клинов М. А. Лесоводственная эффективность комплекса мероприятий по уходу за сосновыми насаждениями Карельской АССР: автореф.

дисс. ...канд. с.-х. наук. – Л., 1985. – 20 с.

57. Клоков А.А. Влияние комплексного ухода на рост приспевающих ельников: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Минск, 1984. – 16 с.

58. Ковалев Л.С., Ковалев М.С. Эффективность использования минеральных удобрений древостоями сосны обыкновенной // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 145-146.

59. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г., Чораян О.Г. Биологическая кибернетика. – М.: Высшая школа, 1977. – 408 с.

60. Коржицкий В.Д. Влияние опытно-промышленного применения удобрений на прирост хвойных лесов // Система лесохозяйственных мероприятий в сосновых лесах Карелии. – Петрозаводск, 1985. – С.115-119.

61. Корнев И.А. Продуктивность ели в связи с морфологической изменчивостью вида в подзоне южной тайги : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Москва, 2008. – 22 с.

62. Корчагов С.А., Мелехов В.И. Влияние удобрений и комплексных уходов на формирование древесины сосны в лесных культурах // Известия ТСХА. – Вып. 2. – 2009. – С. 64-67.

63. Корчагов С.А. Повышение качественной продуктивности насаждений на лесоводственной основе: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Архангельск, 2009. – 20 с.

64. Кошельков С.П., Ильющенко А.Ф., Иваницкая Е.Ф., Ильин В.А. Реакция подроста ели на удаление полога березы и внесение удобрений // Лесоведение. – 1980. – № 2. – С.10-20.

65. Кранкина О.Н., Сеннов С.Н. Программы рубок ухода в сосново-еловых древостоях южной тайги: методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. – 24 с.

66. Лебедев Г.С. Археологические памятники Ленинградской области. – Л.: Лениздат, 1977. – 231 с.

67. Ломов В.Д. Влияние размещения деревьев сосны в древостое на анатомическое строение годичных слоев // Науч. труды Московского лесотех. Института. – №165, 1984. – С. 22-24.

68. Лосицкий К.Б. Изменение некоторых метеорологических факторов под лесом в связи с рубками ухода // В защиту леса. – 1937. – № 4. – С.4-9.

69. Луганский В.Н. Комплексное влияние минеральных удобрений на сосновые насаждения Урала: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 1994. – 29 с.

70. Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Повышение продуктивности лесов. – Екатеринбург: УГЛА, 1995. – 288 с.

71. Люлькович И.Н. Функциональные изменения в звеньях биологиче-



ского круговорота в лесных экосистемах после удобрения и рубок ухода: автореф. дисс. ...канд.биолог.наук. – СПб., 2005. – 18 с.

72. Мальцев Г.И., Баркова Л.И. Применение минеральных удобрений в лесах РСФСР // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.6-8.

73. Малюкович А.И. Влияние мочевины на ферментативную активность подстилок и почв, сосновых фитоценозов // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.35-36.

74. Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Игнатьев А.Ф. Кавин А.А. Целевые программы рубок ухода и комплексного ухода за лесом (для Северо-Запада России): Метод. рекомендации. – СПб.: ЛенНИИЛХ, 1991. – 24 с.

75. Мелехов И.С. Лесоведение и лесоводство. Лекции на факультете повышения квалификации преподавателей лесотехнических вузов. М.: Моск. лесотех. ин-т, 1972. – 178 с.

76. Мелехова Т.А. К вопросу о формировании древесины сосны в связи с рубками // Лесной журнал. – № 4, 1961. – С.42-45.

77. Мелехова Т.А. Формирование годичного слоя сосны в связи с лесорастительными условиями. – Архангельск: ЛТИ, 1954. – Т.14. – С. 123.

78. Меле Л.С., Смирнов С.Д., Яценко-Хмелевский А.А. Влияние минеральных удобрений на камбиальную активность и некоторые стороны метаболизма в стволовой древесине сосны и ели приспевающих древостоев Ленинградской области // Сборник статей по итогам договорных НИР за 1971-72 гг. – М.: Лесная промышленность, 1974. – С.73-78.

79. Мельников Е.С. Рубки ухода с внесением удобрений в березово-еловых насаждениях // Выращивание и нормирование высокопродуктивных насаждений в южной подзоне тайги: Сб. науч. тр. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1984. – С.147-150.

80. Мельников Е.С., Сеннов С.Н. Особенности роста лиственново-елового древостоя после реконструкции // Лесоводство, таксация и аэрометоды: Сб. науч. трудов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. – С.133-135.

81. Мельников Е.С. Пространственная характеристика колебания прироста в смешанном двухъярусном древостое // Закономерности роста и производительности древостоев. – Каунас, 1985. – С.109-111.

82. Мельников Е.С. Целевое выращивание еловых древостоев на основе сочетания рубок ухода с внесением удобрений: Метод. рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. – 33 с.

83. Мельников Е.С. Результаты опытов по сочетанию рубок ухода и удобрений в еловых и лиственново-еловых древостоях // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.142-143.

84. Мельников Е.С. Влияние комплексного ухода на структуру еловых древостоев // Проблемы лесовосстановления в таенной зоне СССР. – Красноярск, 1988. – С.159-161.

85. Мельников Е.С. Влияние комплексного ухода на динамику прироста и элементы минерального питания в еловых древостоях // Лесоводственные способы формирования и оценки насаждений эксплуатационного и рекреационного назначения: Сб. науч. трудов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. – С.159-161.

86. Мельников Е.С. Зависимость прироста ели от горизонтального взаиморасположения деревьев в пройденных рубкой ухода и комплексным уходом лиственнично-еловых насаждениях // Лесоустройство, таксация и аэрометоды: Сб. науч. трудов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. – С.135-140.

87. Мельников Е.С., Данилин А. В. Влияние неравномерности внесения удобрений при механизированном комплексном уходе на прирост ели // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – Л.: ЛТА, 1990. – С.57-63.

88. Мельников Е.С. Целевые программы рубок ухода в сочетании с внесением удобрений в высокопродуктивных ельниках южной подзоны тайги: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Л., 1990. – 20 с.

89. Мельников Е.С., Игнатъев А.Ф., Кавин А.А. Изменение соотношения отдельных фракций надземной фитомассы древостоев под влиянием рубок ухода и комплексного ухода // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – Л.: ЛТА, 1991. – С.42-47.

90. Мельников Е.С. Экологические аспекты применения азотных удобрений в системе комплексного ухода за елью // Экологические предпосылки и последствия лесохозяйственной деятельности: Сб. науч. трудов. – СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. – С.95-109.

91. Мельников Е. С. Реакция средневозрастной ели на интенсивное удаление лиственных в двухъярусных древостоях // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – СПб.: ЛТА, 1998. – С.36-41.

92. Мельников Е.С., Кузнецов Е.Н. Эффективность комплексного ухода в зависимости от характера ярусов в лиственнично-еловых древостоях // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. трудов. – СПб.; ЛТА, 1999. – С.54-57.

93. Мельников Е.С. Лесоводственные основы теории и практики комплексного ухода за лесом: автореф. дисс. ...д-ра с.-х. наук. – СПб., 1999. – 35 с.

94. Мельников Е.С. Результаты экспериментов с удобрениями в елово-сосновых древостоях // Таксация леса на рубеже XXI века. Состояние и пер-

спективы развития: материалы конференции 19-20 сентября 2001 г. – СПб.: СПбГЛТА, 2001. – С.108-110.

95. Мельников Е.С., Люлькович И.Н. Особенности последействия азотных удобрений в сосняках и ельниках после комплексного ухода. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып.171. – СПб.: СПбГЛТА, 2004. – С.10-17.

96. Минин Н.С. Эффективность рубок ухода в сосняках искусственного происхождения в средней подзоне тайги Архангельской области: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Л., 1985. – 21 с.

97. Мишустин Е.Н. Азотный баланс в почвах СССР. // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М.: Наука, 1985. – С.3-11.

98. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. – М.-Л.: Госиздат, 1928. – 368с.

99. Мойко М.Ф., Стратонович А.И. и др. Применение минеральных удобрений в лесах Северо-Западных районов таежной зоны: Метод. рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. – 44 с.

100. Назаров А.Г. О принципах организации биологических систем // Биологические системы в земледелии и лесоводстве. – М.: Наука, 1974. – С.26-40.

101. Наставление по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России. – М., 1994. – 190 с.

102. Нестерович Н.Д., Новикова А.А., Рахтеенко Л.И. Особенности роста ели и сосны в культурфитоценозах при воздействии на них различных лесохозяйственных мероприятий // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С.117-118.

103. Никитишин В.И. Опыт изучения глубинной миграции азота в почве. – В кн.: Круговорот и баланс азот в системе почва-удобрение-растения-вода. – М., 1979. – С.131-134.

104. Новиков Г.А. Основы общей экологии и охраны природы. – Л., 1979. – 350 с.

105. Новикова А.А. Пути повышения продуктивности культурфитоценов ели обыкновенной в Белоруссии // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.85-86.

106. Орлов А.Я., Петров-Спиридонов А.А. Накопление и отпад фитомассы в кислично-черничном березняке и на сплошной вырубке // Лесоведение. – 1986. – № 5. – С.30-38.

107. Паавилайнен Ээро. Применение минеральных удобрений в лесу. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 96 с.

108. Паршевников А.Л., Бахвалов Ю.М., Серый В.С. Эффективность применения минеральных удобрений в лесах европейского Севера // Пробле-

мы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование в свете решений XXVI съезда КПСС: Тезисы докл. Всес. научно-практ. конф. – Архангельск, 1983. – С. 115-117.

109. Паршевников А.Л., Бахвалов Ю.М., Серый В.С. Лесоводственная эффективность применения минеральных удобрений в хвойных лесах Европейского Севера // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С. 68-70.

110. Паршевников А.Л., Бахвалов Ю.М., Черных В.А. Газообразные потери азота при поверхностном внесении азотных удобрений в северотаежных леса // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С.127-128.

111. Пастернак П.С., Стефурак В.П. Влияние удобрений на биологическую активность лесных почв в ельниках и бучинах Украинских Карпат // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.37-38.

112. Победов В.С. Современное состояние и перспективы применения удобрений в лесном хозяйстве // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С.7-8.

113. Победов В.С., Булавик И.М., Лебедев Е.А. Отечественный опыт удобрения лесов: Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. – 26 с.

114. Полянский Е.В., Сеннов С.Н. Опыт оценки экономической эффективности систем рубок ухода за лесом // Экономика труда и производства в лесном хозяйстве: Сб. науч. тр. Вып.23. – Л.:ЛенНИИЛХ, 1975.– С.69-87.

115. Полубояринов О.И. Плотность древесины. – М.: Лес.пром. 1976. – 159 с.

116. Полубояринов О.И., Федоров Р.Б. Сравнительные исследования плотности древесины сосны в Мурманской, Ленинградской областях и на Украине // Лесоводство. – №5, 1984. – С.130-135.

117. Полубояринов О.И., Полончук П.И. Влияние рубок ухода на комплексные показатели качества древесины // Лесоводство. – №5, 1986. –С.67-72.

118. Пшеничникова Л.С. Реакция нижних ярусов растительности сосняков Приангарья на азотные удобрения // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. Архангельск, 1986. – С. 47-48.

119. Пшеничникова Л.С. Оценка рубок промежуточного пользования в сосновых древостоях // Хвойные бореальной зоны, XXV. – № 1-2, 2008. – С.80-83.

120. Рапопорт А. Различные подходы к общей теории систем // Системные исследования. – М.: Наука, 1969. – С. 55-79.

121. Рахтеенко Л.И., Савельев В.В. Минеральные удобрения в повышении продуктивности сосновых культурфитоценозов. – Минск: Наука и техника, 1985. – 135 с.

122. Рихтер И.Э. Влияние удобрений на напочвенный покров и почву в сосновых и еловых насаждениях // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 44-45.

123. Рачинская В.Н. Основы технологии химического комплекса: методические указания. – Красноярск: ГОУ «Сибирский государственный технологический университет», 2006. – 71 с.

124. Рябоконт А.П. Продуктивность и качество древесины в них при ускоренном выращивании на пиловочник и балансы // Лесоводство. – №7, 1990. – С.19-24.

125. Рябуха Е.В. Влияние минеральных удобрений на рост сосны в свежем бору // Лесное хоз-во. – №10, 1975. – С.48-50.

126. Садовский В.Н. Основания общей теории систем: Логико-методологический анализ. – М., 1974. – 279 с.

127. Сарнацкий В. В. Влияние комплексного ухода на формирование и продуктивность ельников Белоруссии: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Минск, 1984. – 17 с.

128. Сарнацкий В.В. Лесоводственная эффективность применения удобрений в ельниках кисличном и черничном // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 138-139.

129. Сеннов С.Н. Методические рекомендации по составлению программ рубок ухода за лесом. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. – 34 с.

130. Сеннов С.Н. Рубки ухода в лиственно-еловых древостоях южной тайги. Практические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1978. – 34 с.

131. Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесом. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 160 с.

132. Сеннов С.Н. и др. Система мероприятий по уходу за лесом : Методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – 30 с.

133. Сеннов С.Н. Уход за лесом (экологические основы). – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 128 с.

134. Сеннов С.Н., Синькевич М.П., Синькевич С.М., Банева Н.А. Система мероприятий по уходу за лесом. Методические рекомендации. – Л.:

ЛенНИИЛХ, 1980. – 30 с.

135. Сеннов С.Н., Максимов В.Е., Мельников Е.С. Уход за лиственново-еловыми древостоями с целью формирования высокопродуктивных ельников. Методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1984. – 12 с.

136. Сеннов С.Н., Банева Н.А., Игнатъев А.Ф. и др. Уход за лесом на основе целевых программ. Методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. – 27 с.

137. Сеннов С.Н., Мельников Е.С. Уход за лиственново-еловыми древостоями с целью ускоренного получения еловых балансов // Научно-исследовательские работы за 1981-85 гг. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – С. 23-29.

138. Сеннов С.Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Известия ЛТА. СПб: ЛТА, 1993. – С.160-172.

139. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб., 1999. – 98 с. (Труды СПбНИИЛХ).

140. Сеннов С.Н. Типы и бонитеты // Известия ЛТА. Вып. 174. СПб: ЛТА, 2005 – С.4-9.

141. Серяков А.Д., Ильюшенко А.Л. Реакция тонкомера ели на разреживание полога лиственных пород // Лесоведение. – 1986. – № 5. – С. 25-29.

142. Серый В.В., Листов А.А. Надземная фитомасса древостоев разной густоты и влияние удобрений на ее структуру в средневозрастных сосняках лишайниковых // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. – Архангельск, 1984. – С.78-87.

143. Синькевич С.М. Влияние разреживания и удобрения на качество древесины в средневозрастном сосняке // Сосново-лиственные насаждения Карелии и Мурманской области. – Петрозаводск, 1981. – С.115-121.

144. Синькевич С.М. Комплексный уход в средневозрастных сосняках южной тайги: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Л., 1984. – 19 с.

145. Синькевич С.М., Мельницкая Г.Б., Синькевич Т.А. Питание ели после удаления лиственного полога // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 139-140.

146. Синькевич Т.А., Синькевич С.М. Комплексный уход в лиственново-еловых лесах Карелии. – Петрозаводск: Карелия, 1991. – 136 с.

147. Синькевич Т.А. Комплексный уход в лиственново-еловых насаждениях Карелии: автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – СПб: ЛТА, 1993. – 20с.

148. Сляднев А.П. Опыт комплексного выращивания сосновых насаждений // Труды Брянского технол. ин-та. Т.10. – Брянск, 1970. – С. 68-76.

149. Сляднев А.П. Влияние биоэкологических особенностей сосновых насаждений и азотного удобрения на формирование годичных колец // Лесной журнал, №6, 1972. – С. 69-74.

150. Смирнов А.А. Влияние комплексного ухода на форму ствола и плотность древесины // Строение, свойства и качество древесины-2004. Труды IV Международного симпозиума I том. – СПбГЛТА, 2004. – С. 131-133.

151. Смирнов А.А. Особенности влияния регулярного ухода за лесом на продуктивность древостоев и качество древесины ели : автореф. дисс. ...канд. с.-х. наук. – Архангельск, 2007. – 20с.

152. Смольянинов И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 192 с.

153. Смольянинов И.И. Минеральные удобрения как активаторы процессов цикла биокруговорота веществ в лесной экосистеме // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания по проблеме. – Гомель, 1984. – С. 56-57.

154. Соловьев В.А. Популяция и биоценоз. – Л.: ЛТА, 1985. – 92 с.

155. Соловьев В.А. Экология и охрана природы. Экосистема. – Л.: ЛТА, 1987. – 84 с.

156. Спурр С.Г., Барнес Б.В. Лесная экология: пер. с 3-го англ. изд. / Под ред. д-ра биол. наук С.А.Дыренкова. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 480с.

157. Степаненко И.И. Влияние минеральных удобрений на физико-механические свойства древесины сосны. – Лесохозяйственная информация. – №5. – 2008. – С. 3-10.

158. Степаненко И.И. Лесоводственные основы целевого выращивания сосновых насаждений в подзоне южной тайги европейской части России : автореф. дисс. ...д-ра с.-х. наук. – Архангельск: АГТУ, 2009. – 44с.

159. Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964. – 575 с.

160. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. – М., 1973. – 277 с.

161. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 600 с.

162. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 853 с.

163. Тялли П. Г. Динамика прироста древесины в средневозрастном сосняке брусничном под влиянием удобрений // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С. 134-135.

164. Угаров В.Н. Влияние азотных удобрений на содержание азота в почве // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.30-31.

165. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. – М.:

Мысль, 1978. – 272 с.

166. Ушакова Г.И. Слияние удобрений на скорость разложения лесной подстилки и миграцию химических элементов // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве. – Архангельск, 1986. – С.42-43.

167. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.

168. Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз. – Архангельск, 2004. – 267с.

169. Чертов, О.Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). – Л.: Наука, 1981. – 192 с.

170. Чибисов Г. А., Поротов В. Н. Программы рубок ухода за лесом на Европейском Севере. Практические рекомендации. – Архангельск, 1982. – 27 с.

171. Чибисов Г.А., Вялых Н.И., Минин Н.С. Рубки ухода за лесом на Европейском Севере: Практическое пособие. – Сев.НИИЛХ и АГТУ, 2004. – 128 с.

172. Шварц С.С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования // В кн.: Всесторонний анализ окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – С.181-191.

173. Шпалте Э.П. Эффективность удобрения насаждений и цикличность прироста древесины // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания. – Гомель, 1984. – С.79-80.

174. Шпалте Э.П. Влияние удобрения и рубок ухода на текущий прирост сосны // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тезисы докл. Всес. совещания. – Архангельск, 1986. – С.140-141.

175. Шумаков В.С. Применение минеральных удобрений в лесах СССР // Лесное хозяйство. – 1975. – № 10. – С.37-40.

176. Юревич Н.Н., Подошвелев Д.А. Влияние изреживаний культур сосны обыкновенной на плотность древесины // Труды БГТУ. Серия лесн. хозва. – Вып. 12. – 2004. – С. 142 - 143.

177. Яблонский А.И. Развитие науки как открытой системы // Системные исследования. – М.: Наука, 1978. – С. 86-109.

178. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. – М.Л. : Изд-во А.Н. СССР, 1954. – 338с.

179. Allen H.L. Forest fertilizers // Journal of Forestry, 1987, № 2, pp.37-46.

180. Angelstam P. Maintaining and restoring biodiversity in European boreal forests by developing natural disturbance regimes // Journal of Vegetation, 1998. – Science 9: 593–602.

181. Borchmann W. Et al. Umweltorientierte Mineraldüngung bei industriemäßiger Pflanzenproduktion. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität, Rostock, 1981, H. 30, № 6, S.31-34.

182. Dam Kofoed A.A. Nitrate i drikkevand og sundhedsfare. – Ugeskrift for



Jordbrug, 1983, v. 128, № 17, S. 319-327.

183. Haapen Tapani, Hari Pertti, Kellomaki Seppo. Effect of fertilization and thinning on radial growth of scots pine // *Silva Fenn.* 1979. 13. № 2. p. 184-189.

184. Hansson Arne. Skogsgodsling i Sverige. Historik och dagslage. // *Kgl. Skogs-och. lautbruksakad talskr.* 1984. 123. № 5-6. p. 329-336.

185. Laurence R. Schimleck Impact of Silvicultural Practices on Loblolly Pine Wood Quality // *Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology* November 10-12, 2008. Concepción, CHILE Paper WQ-61. – 10 p.

186. Lundgren C. Wood and fibre properties of fertilized Norway spruce. – Swedish university of agricultural sciences, Department of forest products and markets, Uppsala, Sweden, 2003. – 33 p.

187. Karpenstein M. Stickstoff Verluste auf landwirtschaftlichen Kulturflächen. – *Chemie und Technik in der Landwirtschaft*, 1982 Bd 33, № 6, S228-229.

188. KrauB H.H., Behm R. Harnstoffeinsatz in der forstwirtschaft. // *Beitz. Forst-wirt.* 1978. 12. № 4. p. 149-154.

189. Kuhnert M., Fuchs V. Zur Wirkstoffbelastung der Umwelt am Beispiel der Nitratproblematik und ihren Einfluß auf das Nutztier und Menschen. – *Mh. Veter. Med.*, 1983, Bd 38, № 1, S.1-4.

190. Kuntze H. Belastung und Schutz von Gewässern durch die Landbewirtschaftung. – *Die Bodenkultur*, 1980, Bd 31, № 1, S.12-20.

191. Mörling T. Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilisation and thinning of Scots pine. / *For. Sci.* 2002. – PP.29-40.

192. Nutrition of trees : Lectures given at the 1989 Marcus Wallenberg Symposium in Falun , Sweeden, on September 14, 1989. – 85 p.

193. Robert M. Echols Product suitability of wood determined by density gradients across growth rings // *FOREST SERVICE U.S.DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Research Note PSw-273*, 1972. – 6 p.

194. Salade et Nitrate. – *La Terre Romande*, 1983, v. 17, № 15, p.9.

195. Skogsgodsligen fortsatten att minska. // *Skogen.* 1985. № 1-85. p.43.

196. Owen T. R., Barraclough D. The leaching of nitrate from intensively fertilized grassland. – *Fertilizers and Agriculture*, 1983, v. 37, № 85, p. 43-50

197. Tuula Jyske The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments // *Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry* University of Helsinki, Academic dissertation 2008. – 59 p.

198. Vanclay J.K. Platipus Physiology: Design of a plantation growth and conversion simulator incorporating silviculture and wood quality // In: A.R. Ek, S.R. Shifley and T.E. Burk (eds) *Forest Growth Modelling and Prediction. Proceedings of IUFRO Conference*, August 23-27, 1987, Minneapolis, Minnesota. USDA

Forest Service General Technical Report NC-120, p. 998-100. *Silva Lusitana* 11(2): 131-139, 2003.

199. Viro P.G. Forest Manuring on Mineral Soils // *Meddelelser fra Det Norske Skogforoksvensen.* – №85, Bind XXIII, 1967. PP.113-136.

200. Wetman G.F., Roberge m.B., Meng C.H. Рост ели черной и микробиологическая активность почвы в течение 15 лет после внесения удобрений и прореживания // *Canad. J. Forest Res.* 1980. 10. № 4.

201. Zobel B.J. *Wood variation: its causes and control.* – Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1989. – 363 p.

## Динамика таксационных показателей ельника черничного ПП серии 10

№ ПП	Вариант опыта	Год таксации	Рубка по запасу, %	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднепериодический текущий прирост		Отпад, м <sup>3</sup> /га в год	Общая производительность	
					м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса		м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
10-1	Контроль	1974	-	<u>223</u> 184	-	-	-	<u>223</u> 184	-
		1978	-	<u>280</u> 227	<u>12,2</u> 9,0	<u>4,4</u> 4,0	<u>0,8</u> 0,4	<u>284</u> 229	-
		1983	-	<u>322</u> 250	<u>11,4</u> 7,4	<u>3,5</u> 3,0	<u>3,0</u> 2,8	<u>341</u> 266	-
		1988	-	<u>370</u> 279	<u>14,2</u> 9,8	<u>3,8</u> 3,5	<u>4,6</u> 4,0	<u>412</u> 315	-
		1993	-	<u>401</u> 288	<u>12,6</u> 7,8	<u>3,1</u> 2,8	<u>6,4</u> 6,0	<u>475</u> 354	-
		1998	-	<u>423</u> 292	<u>10,8</u> 6,4	<u>2,6</u> 2,2	<u>6,4</u> 5,6	<u>529</u> 386	-
		2003	-	<u>445</u> 296	<u>10,6</u> 6,8	<u>2,4</u> 2,2	<u>6,2</u> 6,0	<u>582</u> 420	-
10-2	Двукратная рубка (1974, 1983)	1974	25	167	-	-	-	219	98
		1978	-	202	8,6	4,3	1,6	262	92
		1983	22	198	12,6	6,4	1,6	325	95
		1988	-	240	10,2	4,2	1,8	376	91
		1993	-	277	9,2	3,3	1,8	422	89
Распад древостоя (ветровал)									
10-3	Двукратная рубка (1974, 1983) + трехкратное удоб.	1974	30	144	-	-	-	214	96
		1978	-	193	10,4	5,4	0,6	266	94
		1983	23	198	13,8	7,0	1,4	355	104
		1988	-	256	11,8	4,6	0,2	394	96
		1993	-	296	9,2	3,1	1,2	440	93
		1998	-	318	9,4	2,9	5,0	487	92
		2003	-	340	9,2	2,7	4,8	533	92

Примечание. Над чертой – показатели всего древостоя, под чертой – еловой части.

## Динамика таксационных показателей ельника кисличного III серии 11

№ ПП	Вариант опыта	Год таксации	Рубка по запасу, %	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднепериодический текущий прирост		Отпад, м <sup>3</sup> /га в год	Общая производительность	
					м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса		м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
11-1	Контроль	1973	-	<u>404</u> 374	-	-	-	<u>404</u> 374	-
		1977	-	<u>464</u> 422	<u>15,8</u> 12,6	<u>3,4</u> 3,0	<u>3,8</u> 3,8	<u>483</u> 441	-
		1983	-	<u>522</u> 466	<u>17,8</u> 15,0	<u>3,4</u> 3,2	<u>6,2</u> 6,2	<u>572</u> 516	-
		1987	-	<u>623</u> 556	<u>25,6</u> 23,4	<u>4,1</u> 4,2	<u>5,4</u> 5,4	<u>700</u> 633	-
		1993	13	<u>582</u> 496	<u>7,8</u> 4,0	<u>1,3</u> 0,8	<u>4,0</u> 4,0	<u>739</u> 653	-
		1997	-	<u>576</u> 475	<u>6,0</u> 2,0	<u>1,0</u> 0,4	<u>7,2</u> 6,2	<u>769</u> 663	-
		2004	-	<u>563</u> 477	<u>5,0</u> 4,2	<u>0,9</u> 0,9	<u>6,6</u> 5,3	<u>804</u> 692	-
11-2	Трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.)	1973	22	<u>283</u> 259	-	-	-	<u>355</u> 322	<u>88</u> 86
		1977	-	<u>329</u> 286	<u>9,6</u> 5,8	<u>2,9</u> 2,0	<u>0,4</u> 0,4	<u>403</u> 351	<u>83</u> 80
		1983	5	<u>352</u> 299	<u>11,8</u> 9,8	<u>3,4</u> 3,3	<u>3,6</u> 3,6	<u>462</u> 400	<u>81</u> 78
		1987	-	<u>464</u> 378	<u>23,6</u> 17,0	<u>5,1</u> 4,5	<u>1,2</u> 1,2	<u>580</u> 485	<u>83</u> 77
		1993	17	<u>466</u> 376	<u>17,6</u> 16,8	<u>3,8</u> 4,8	-	<u>668</u> 569	<u>90</u> 87
		1997	-	<u>500</u> 386	<u>10,2</u> 5,4	<u>2,0</u> 1,5	<u>3,4</u> 3,4	<u>719</u> 596	<u>93</u> 90
		2004	-	<u>550</u> 413	<u>10,3</u> 7,0	<u>1,9</u> 1,9	<u>4,4</u> 4,4	<u>791</u> 645	<u>98</u> 93
11-3	Трехкратная рубка (1973, 1983, 1993 гг.) + двухкратное удобрение (1973, 1983 гг.)	1973	24	<u>297</u> 287	-	-	-	<u>393</u> 346	<u>97</u> 93
		1977	-	<u>360</u> 344	<u>13,4</u> 12,0	<u>3,7</u> 3,5	<u>0,8</u> 0,6	<u>460</u> 406	<u>95</u> 92
		1983	8	<u>379</u> 357	<u>15,0</u> 13,8	<u>4,0</u> 3,9	<u>3,2</u> 3,2	<u>535</u> 475	<u>94</u> 92
		1987	-	<u>513</u> 483	<u>27,2</u> 25,2	<u>5,3</u> 5,2	<u>0,4</u> -	<u>671</u> 601	<u>96</u> 95
		1993	16	<u>476</u> 435	<u>15,5</u> 13,4	<u>3,3</u> 3,1	-	<u>749</u> 668	<u>101</u> 102
		1997	-	<u>516</u> 459	<u>12,4</u> 9,2	<u>2,4</u> 2,0	<u>4,4</u> 4,4	<u>811</u> 714	<u>105</u> 108
		2004	-	<u>550</u> 483	<u>11,0</u> 9,6	<u>2,0</u> 2,0	<u>6,1</u> 6,1	<u>888</u> 781	<u>110</u> 113

Примечание. Над чертой – показатели всего древостоя, под чертой – еловой части.

## Динамика таксационных показателей сосняков черничных влажных III серий 5 и 12

№ ПП	Вариант опыта	Год таксации	Рубка по запасу, %	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднепериодический текущий прирост		Отпад, м <sup>3</sup> /га в год	Общая производительность	
					м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса		м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
5-1	Контроль	1971	-	190	-	-	-	204	-
		1976	-	233	10,0	4,3	1,4	254	-
		1981	-	276	11,6	4,2	3,0	312	-
		1986	-	289	7,6	2,6	5,0	350	-
		1991	-	308	6,6	2,1	2,8	383	-
		1996	-	332	7,4	2,2	2,6	420	-
		2002	-	373	7,7	2,1	0,8	466	-
5-2	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.)	1971	43	119	-	-	-	208	102
		1976	-	154	7,6	4,9	0,6	246	97
		1981	15	169	9,2	5,4	0,2	292	94
		1986	-	213	9,2	4,3	0,4	338	97
		1991	-	256	8,8	3,4	0,2	382	100
		1996	-	286	6,4	2,2	0,4	414	99
		2002	-	311	8,8	2,8	3,7	461	99
5-3	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	1971	34	133	-	-	-	201	99
		1976	-	192	12,4	6,5	0,6	263	104
		1981	14	216	12,2	5,6	0,2	324	104
		1986	-	250	6,8	2,7	-	358	102
		1991	-	297	9,4	3,2	-	405	106
		1996	-	343	9,4	2,7	0,2	452	108
		2002	-	407	10,6	2,6	-	516	111
12-1	Контроль	1973	-	168	-	-	-	188	-
		1978	-	220	13,0	5,9	2,6	253	-
		1982	-	241	7,5	3,1	2,3	283	-
		1987	-	285	11,6	4,1	2,8	341	-
		1993	-	316	9,8	3,1	3,6	390	-
		1999	-	345	6,7	1,9	1,8	430	-
		2005	-	379	8,0	2,1	2,3	478	-
12-2	Рубка (1973 г.)	1973	30	135	-	-	-	191	102
		1978	-	176	9,2	5,2	1,0	237	94
		1982	-	207	8,0	3,9	0,3	269	95
		1987	-	246	8,0	3,3	0,2	309	91
		1993	-	303	12,8	4,2	1,4	373	96
		1999	-	343	8,7	2,5	2,0	429	100
		2005	-	358	4,7	1,3	3,2	457	96
12-3	Рубка (1973 г.) + двукратное удобрение (1974, 1977 гг.)	1973	31	104	-	-	-	152	81
		1978	-	150	10,2	6,8	1,0	203	80
		1982	-	183	9,2	5,0	1,0	240	85
		1987	-	221	8,8	4,0	1,2	284	83
		1993	-	266	10,8	4,1	1,8	338	87
		1999	-	310	8,0	2,6	0,8	386	90
		2005	-	359	9,8	2,7	1,7	445	93

## Динамика таксационных показателей сосняков брусничных ПП серии 6

№ ПП	Вариант опыта	Год таксации	Рубка по запасу, %	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднепериодический текущий прирост		Отпад, м <sup>3</sup> /га в год	Общая производительность	
					м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса		м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
6-3	Контроль	1971	-	176	-	-	-	191	-
		1976	-	225	12,2	5,4	2,4	252	-
		1981	-	237	5,4	2,3	3,0	279	-
		1986	-	256	7,8	3,0	4,0	318	-
		1991	-	284	10,0	3,5	4,4	368	-
		1996	-	300	8,4	2,8	4,8	408	-
		2002	-	319	5,0	1,6	1,2	433	-
6-2	Двухкратная рубка (1971, 1981 гг.)	1971	36	108	-	-	-	188	98
		1976	-	146	7,8	5,3	0,2	227	90
		1981	6	171	7,8	4,6	0,4	266	95
		1986	-	195	4,8	2,5	-	290	91
		1991	-	241	10,2	4,2	1,0	341	93
		1996	-	288	10,0	3,4	0,6	391	96
		2005	-	338	7,0	1,7	1,4	448	103
6-6	Двукратная рубка (1971, 1981 гг.) + двукратное удобрение (1972, 1982 гг.)	1971	27	131	-	-	-	202	106
		1976	-	186	13,0	7,0	2,0	267	106
		1981	10	203	9,0	4,4	1,2	312	112
		1986	-	243	9,6	4,0	1,6	360	113
		1991	-	270	6,0	2,2	0,6	390	106
		1996	-	294	6,0	2,0	1,2	420	97
		2005	-	396	11,3	5,2	-	512	118
6-9	Рубка (1971 г.)	1971	49	114	-	-	-	252	132
		1976	-	154	8,4	5,5	0,4	294	117
		1981	-	212	12,0	5,7	0,4	354	127
		1986	-	230	4,4	1,9	0,8	376	118
		1991	-	271	8,6	3,2	0,4	419	114
		1996	-	332	13,4	4,0	1,2	486	119
		2002	-	377	9,0	2,4	-	531	123
6-5	Рубка (1971 г.) + трехкратное удобрение (1972, 1977, 1982 гг.)	1971	32	126	-	-	-	198	104
		1976	-	191	14,0	7,3	1,0	268	106
		1981	-	246	11,8	4,8	0,8	327	117
		1986	-	283	8,2	2,9	0,8	368	116
		1991	-	319	9,6	3,0	2,4	416	113
		1996	-	332	4,4	1,4	1,8	438	107
		2002	-	390	14,2	3,6	2,6	509	118

**Динамика таксационных показателей сосново-еловых древостоев  
черничного типа леса за период опыта на ППП серии 18**

№ ПП	Вариант опыта	Год таксации	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднепериодический текущий прирост		Отпад, м <sup>3</sup> /га в год	Общая производительность	
				м <sup>3</sup> /га в год	% от запаса		м <sup>3</sup> /га	в % к контролю
18-1	Контроль	1987	179				334	-
			134	-	-	-		
		1994	194	3,1	1,6	1,0	454	-
			163	4,4	2,7	0,3		
		2009	138	-	-	0,9	360	-
			156	-	-	1,0		
18-2	Рубка – 15%. Удобрение – Р/Н (1984; 1986 гг.)	1987	144				336	101
			183	-	-	-		
		1994	169	4,3	2,5	0,7	458	101
			203	4,0	2,0	1,2		
		2009	166	-	-	0,3	413	117
			174	-	-	0,5		
18-3	Рубка – 15%. Удобрение – Р/Н (1984; 1986 гг.)	1987	175	-	-	-	362	107
			171	-	-	-		
		1994	209	5,3	2,5	0,6	500	110
			194	4,1	2,1	0,9		
		2009	278	5,6	2,0	0,9	730	202
			244	4,4	1,8	1,0		

Примечание. В числителе – показатели сосновой части древостоя; в знаменателе – показатели еловой части древостоя.

**Отпад в ельниках черничном и кисличном III серий 10 и 11  
по вариантам опыта и по пятилетиям**

III	Пятилетие	Количество деревьев, шт./га по ступеням толщины								На 1 га
		4	8	12	16	20	24	28	32	
10-1	1	93	60							<b>153</b>
	2	447	160	67	7					<b>680</b>
	3	227	240	20	40	7				<b>533</b>
	4		113	27	20	33			7	<b>200</b>
	5	33	73	53	20	13	13	7		<b>213</b>
	6	33	73	53	20	7	13	7		<b>207</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>833</b>	<b>720</b>	<b>220</b>	<b>107</b>	<b>60</b>	<b>27</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>1987</b>
10-2	1		40	32	16	5				<b>93</b>
	2	5	13	53	16					<b>87</b>
	3				21	5	5			<b>32</b>
	4	5		5	16	11				<b>37</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>11</b>	<b>53</b>	<b>89</b>	<b>68</b>	<b>21</b>	<b>5</b>			<b>248</b>
	Распад древостоя (ветровал)									
10-3	1	13	13	26						<b>52</b>
	2	9	30	30	4					<b>74</b>
	3	9	4		4					<b>17</b>
	4				4	9	4			<b>17</b>
	5			4	4	22	17	4		<b>52</b>
	6		4	9	9	26	22	4		<b>74</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>30</b>	<b>52</b>	<b>70</b>	<b>26</b>	<b>57</b>	<b>43</b>	<b>9</b>		<b>287</b>
11-1	1	60	60	60						<b>180</b>
	2	40	160	160	60					<b>420</b>
	3		20	180	40					<b>240</b>
	4			80	60					<b>140</b>
	5		20	80	60					<b>160</b>
	6			20	80		40			<b>140</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>100</b>	<b>260</b>	<b>580</b>	<b>300</b>		<b>40</b>			<b>1280</b>
11-2	1			20						<b>20</b>
	2		60	140	20					<b>220</b>
	3			20	20					<b>40</b>
	4									<b>0</b>
	5	60	60	60						<b>180</b>
	6			20	60	40				<b>120</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>260</b>	<b>100</b>	<b>40</b>				<b>580</b>
11-3	1		20	40						<b>60</b>
	2		20	80	40					<b>140</b>
	3			20		20			20	<b>60</b>
	4									<b>0</b>
	5			20	80					<b>100</b>
	6			20	80	60	40			<b>200</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>40</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>80</b>	<b>40</b>		<b>20</b>	<b>560</b>



**Отпад в сосняках черничных влажных ПП серий 5 и 12  
по вариантам опыта и по пятилетиям**

ПП	Пятилетие	Количество деревьев, шт./га по ступеням толщины								На 1 га
		4	8	12	16	20	24	28	32	
5-1	1		140	25	5					<b>170</b>
	2		115	115	5					<b>235</b>
	3		45	135	65					<b>245</b>
	4			20	60					<b>80</b>
	5			20	5	15	10			<b>50</b>
	6			5	5			5		<b>15</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>300</b>	<b>320</b>	<b>145</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		<b>795</b>
5-2	1		15	25						<b>40</b>
	2		5							<b>5</b>
	3		5		10					<b>15</b>
	4				5					<b>5</b>
	5			5	5					<b>10</b>
	6			5	10	10	20	5		<b>60</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>25</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>5</b>		<b>135</b>
5-3	1		5	15	10					<b>30</b>
	2		10							<b>10</b>
	3									<b>0</b>
	4									<b>0</b>
	5									<b>0</b>
	6				5					<b>5</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>					<b>45</b>
12-1	1	5	85	25						<b>115</b>
	2	15	115	60						<b>190</b>
	3		55	50	15	5				<b>125</b>
	4		25	80	30	5				<b>140</b>
	5			55	25					<b>80</b>
	6		5	40	10	10	5			<b>70</b>
	<b>На 1 га</b>	<b>20</b>	<b>285</b>	<b>310</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>5</b>			<b>720</b>
12-2	1		20	5						<b>25</b>
	2		35	5						<b>40</b>
	3		25	5						<b>30</b>
	4		20	40			5			<b>65</b>
	5			55	15	10				<b>80</b>
	6			25	20	15				<b>60</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>100</b>	<b>135</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>5</b>			<b>300</b>
12-3	1		90	5						<b>95</b>
	2		70	20						<b>90</b>
	3		60	25	5					<b>90</b>
	4		20	55	15					<b>90</b>
	5		10	35						<b>45</b>
	6		5	15	35					<b>55</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>255</b>	<b>155</b>	<b>55</b>					<b>465</b>

**Отпад в сосняке брусничном III серии 6 по вариантам опыта и по пятилетиям**

III	Пяти- летие	Количество деревьев, шт./га по ступеням толщины							На 1 га	
		4	8	12	16	20	24	28		32
6-3	1			15						<b>15</b>
	2		10	25	15	5				<b>55</b>
	3		5	85	15	0				<b>105</b>
	4		40	135	25	5				<b>205</b>
	5		10	115	45	10				<b>180</b>
	6			30	15					<b>45</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>65</b>	<b>405</b>	<b>115</b>	<b>20</b>				<b>605</b>
6-2	1		10	5						<b>15</b>
	2		10	50	20	20	5			<b>105</b>
	3									<b>0</b>
	4			5	15	5				<b>25</b>
	5			15		5				<b>20</b>
	6			10	10	5	5			<b>30</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>20</b>	<b>85</b>	<b>45</b>	<b>35</b>	<b>10</b>			<b>195</b>
6-6	1			20	10					<b>30</b>
	2			10		5				<b>15</b>
	3			5	20	15	10			<b>50</b>
	4				5	5				<b>10</b>
	5				5	5		5		<b>15</b>
	6									<b>0</b>
	<b>На 1 га</b>			<b>35</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		<b>120</b>
6-9	1									<b>0</b>
	2				5	5				<b>10</b>
	3				5		5	5		<b>15</b>
	4					5				<b>5</b>
	5					5				<b>5</b>
	6							5		<b>5</b>
	<b>На 1 га</b>				<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>10</b>		<b>40</b>
6-5	1		5	35	10					<b>50</b>
	2		10	40	10					<b>60</b>
	3		15	45	15	10				<b>85</b>
	4			25	35		5			<b>65</b>
	5			30	15	10				<b>55</b>
	6				10				10	<b>20</b>
	<b>На 1 га</b>		<b>30</b>	<b>175</b>	<b>95</b>	<b>20</b>	<b>5</b>		<b>10</b>	<b>335</b>

**Распределение деревьев по ступеням толщины  
в ельниках черничном и кисличном ПП серий 10 и 11**

Ступень тол- щины	Количество деревьев				Количество деревьев			
	на начало опыта		на конец опы- та		на начало опыта		на конец опыта	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
	ПП 10-1 (контроль)				ПП 10-2 (рубки ухода)			
4	120	27	4	3	4	2	1	1
8	161	37	21	13	34	14	2	2
12	93	21	35	22	104	43	7	5
16	34	8	43	28	70	29	34	26
20	27	6	31	20	23	10	34	26
24	5	1	12	8	6	2	30	24
28			3	2	1	0	13	10
32			4	2			7	5
36			2	1			1	1
40			1	1				
Всего	440	100	156	100	242	100	129	100
	ПП 10-3 (комплексный уход)				ПП 11-1 (контроль)			
4	13	4			2	1		
8	72	23	3	2	22	16		
12	132	42	13	9	51	39	7	13
16	79	25	16	11	38	29	10	18
20	18	6	31	22	18	13	15	27
24			33	24	3	2	12	21
28			22	15			11	19
32			23	16			1	2
36			1	1				
40								
Всего	314	100	142	100	134	100	56	100
	ПП 11-2 (рубки ухода)				ПП 11-3 (комплексный уход)			
4	2	2						
8	14	14			12	13		
12	42	42	9	19	35	36	2	5
16	30	31	15	31	36	38	8	18
20	10	10	12	25	11	11	16	36
24	1	1	6	13	2	2	8	18
28			3	6			5	11
32			2	4			3	7
36			1	2			2	5
40								
Всего	99	100	48	100	96	100	44	100

**Распределение деревьев по ступеням толщины  
в сосняках черничных влажных ПП серий 5 и 12**

Ступень толщины	Количество деревьев				Количество деревьев			
	на начало опыта		на конец опыта		на начало опыта		на конец опыта	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
	ПП 5-1 (контроль)				ПП 5-2 (рубки ухода)			
4								
8	66	21	4	3	11	6		
12	111	36	25	16	72	41		
16	95	30	41	27	78	44	7	6
20	36	12	49	32	16	9	29	26
24	3	1	28	19			40	36
28			3	2			29	26
32			2	1			4	4
36							2	2
40								
Всего	311	100	152	100	177	100	111	100
	ПП 5-3 (комплексный уход)				ПП 12-1 (контроль)			
4					6	2		
8	8	5			93	29		
12	33	21	2	5	121	37	15	10
16	75	48	8	18	76	23	20	13
20	32	21	14	36	21	7	35	23
24	7	5	40	18	5	2	47	30
28			33	11			30	20
32			16	7			4	3
36			5	5			1	1
40								
Всего	155	100	118	100	322	100	152	100
	ПП 12-2 (рубки ухода)				ПП 12-3 (комплексный уход)			
4								
8	34	17			74	29		
12	70	34	14	10	123	48	14	9
16	63	30	10	7	52	20	28	18
20	35	17	36	24	7	3	46	29
24	4	2	50	34			36	22
28			29	20			28	18
32			8	5			6	4
36								
40								
Всего	206	100	147	100	256	100	158	100

**Распределение деревьев по ступеням толщины  
в сосняках брусничных ПП серии 6**

Ступень тол- щины	Количество деревьев				Количество деревьев			
	на начало опыта		на конец опы- та		на начало опы- та		на конец опыта	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
	ПП 6-3 (контроль)							
4								
8	22	4						
12	348	63	14	8				
16	151	26	45	26				
20	36	7	62	36				
24	2	0	37	21				
28			13	7				
32			1	1				
36			2	1				
40								
Всего	537	100	174	100				
	ПП 6-2 (рубки ухода)				ПП 6-6 (комплексный уход)			
4								
8	9	5						
12	63	38	3	2	34	23		
16	76	45	13	10	58	39	1	1
20	19	11	27	20	43	29	14	15
24	1	1	46	36	12	9	25	25
28			28	22			36	36
32			11	9			13	13
36			1	1			10	10
40								
Всего	168	100	129	100	147	100	99	100
	ПП 6-9 (рубки ухода)				ПП 6-5 (комплексный уход)			
4								
8					5	3		
12	2	2			63	35		
16	47	47	1	1	75	42	11	8
20	38	38	7	8	33	19	33	25
24	13	12	24	26	2	1	41	31
28	1	1	33	35			37	28
32			21	23			10	8
36			6	6				
40			1	1				
Всего	101	100	93	100	178	100	132	100

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в ельнике черничном через 6 лет после начала опыта с рубками ухода  
и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %		
	1980 г.		
	ПП 10-1	ПП 10-2	ПП 10-3
<b>Травяно-кустарничковый</b>	<b>15,0</b>	<b>48,0</b>	<b>92,1</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>10,0</b>	<b>5,7</b>	<b>10,7</b>
Малина	0,0	0,0	2,9
Брусника	1,1	1,1	5,8
Черника	8,9	4,6	2,0
<b>Травы</b>	<b>5,0</b>	<b>42,3</b>	<b>81,4</b>
Вейник лесной	4,6	15,6	52,0
Осока лесная	0,0	0,6	2,6
Луговик извилистый	0,0	1,0	0,0
Ожика волосистая	0,1	1,6	0,8
Ветреница дубравная	+	0,0	0,0
Иван-чай	0,0	0,1	1,8
Золотая розга	0,0	0,0	2,9
Земляника лесная	0,0	+	0,0
Кислица обыкновенная	0,0	15,6	14,8
Кочедыжник женский	0,0	1,0	0,0
Ландыш лесной	+	+	0,0
Лютик едкий	0,0	0,0	0,5
Майник двулистный	+	3,4	+
Марьянник луговой	0,0	+	0,5
Плаун годичный	0,0	0,5	0,0
Рамишия однобокая	0,0	0,2	0,0
Седмичник европейский	+	0,3	0,3
Сныть обыкновенная	0,0	0,0	1,8
Фиалка Ривиниуса	0,0	0,0	+
Хвощ лесной	0,3	2,2	0,9
Щитовник иголец	0,0	0,2	0,0
Щитовник мужской	0,0	0,0	2,5
<b>Моховой ярус</b>	<b>31,4</b>	<b>90,9</b>	<b>73,5</b>
Брахитециум неровный	0,0	0,0	4,2
Дрепанокладус	0,0	0,0	0,9
Дикранум многоножковый	10,4	15,0	1,7
Гилокомиум блестящий	3,0	23,0	10,2
Плагиотециум лесной	2,0	0,0	3,7
Плевроциум Шребера	11,1	49,2	13,8
Политрихум обыкновенный	0,1	3,5	5,8
Птилиум гребенчатый	+	0,2	0,0
Родобриум розовидный	0,0	0,0	4,0
Сфагнум оттопыренный	4,8	0,0	29,2

Примечание. Интенсивность рубки на ПП 10-2 – 23% по запасу, на ПП 10-3 – 30%; доза удобрения на ПП 10-3 – 150 кг/га по д.в.

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова в ельнике  
кисличном через 7 и 14 лет после начала опыта с рубками ухода  
и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %, 1980 г.			Проективное покрытие, %, 1987 г.		
	ПП 11-1	ПП 11-2	ПП 11-3	ПП 11-1	ПП 11-2	ПП 11-3
<b>Травяно-кустарничковый ярус</b>	<b>45,0</b>	<b>46,2</b>	<b>88,9</b>	<b>45,0</b>	<b>70,1</b>	<b>67,0</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>1,7</b>	<b>2,6</b>	<b>11,9</b>	<b>1,3</b>	<b>6,3</b>	<b>10,7</b>
Малина	1,3	2,6	11,9	1,3	5,1	10,7
Костяника	0,4	0,0	0,0	+	1,2	+
<b>Травы</b>	<b>43,3</b>	<b>43,6</b>	<b>77,0</b>	<b>51,7</b>	<b>63,8</b>	<b>56,3</b>
Бор развесистый	1,6	0,0	0,8	0,0	0,1	0,0
Луговик извилистый	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0
Ожика волосистая	+	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1
Осока лесная	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
Перловник поникший	+	+	0,1	+	0,1	+
Ветреница дубравная	2,0	1,3	0,6	1,3	2,1	0,5
Вероника дубравная	+	+	0,0	0,5	0,0	0,0
Вероника лекарственная	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,2
Вороний глаз четырехлистный	0,0	0,2	0,0	0,4	0,6	1,2
Голокучник Линнея	0,1	1,0	3,0	4,2	3,7	5,2
Гравилат городской	0,0	0,0	+	0,0	+	0,2
Иван-чай	0,0	0,2	1,3	0,0	0,9	0,0
Звездчатка средняя	0,3	4,7	6,5	2,5	0,1	2,9
Звездчатка дубравная	0,0	0,2	1,6	1,2	13,8	1,4
Золотая розга	0,0	0,1	+	0,1	0,0	0,0
Земляника лесная	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,2
Кислица обыкновенная	38,0	32,5	57,3	33,0	28,1	32,8
Кочедыжник женский	0,0	0,3	2,4	0,0	0,0	0,4
Купырь лесной	0,0	1,4	0,0	0,1	0,2	0,0
Крапива двудомная	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,5
Ландыш лесной	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,6
Лютик ползучий	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	0,5
Лютик едкий	0,1	0,4	0,6	0,0	0,1	0,0
Марьянник луговой	0,0	0,3	+	0,0	0,5	0,0
Майник двулистный	0,3	0,0	0,3	0,5	1,3	1,1
Мать-и-мачеха	0,0	+	0,0	0,0	0,1	0,0
Медуница лекарственная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Рамишия однобокая	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Седмичник европейский	+	0,0	0,0	+	+	0,0
Селезеночник очереднолистный	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Сныть обыкновенная	0,6	0,1	0,8	2,2	0,0	1,9
Фиалка Ривиниуса	0,2	0,5	0,5	2,5	5,5	1,2
Фиалка болотная	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0
Хвощ лесной	0,1	0,1	0,5	+	0,5	0,5
Щитовник игольчатый	0,0	0,0	0,0	0,9	3,4	2,8
<b>Моховой ярус</b>	<b>0,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,0</b>	<b>5,0</b>	<b>13,0</b>	<b>9,0</b>
Брахитециум неровный	0,0	0,8	0,0	4,8	11,7	8,3
Гилокомиум блестящий	0,0	+	0,0	0,2	0,2	0,0
Дикранум метловидный	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0
Мниум заостренный	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7
Мниум точечный	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+
Плагиохилла асплениидная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	+
Плагиотециум лесной	0,1	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0
Плевроциум Шребера	0,0	+	0,0	+	0,3	0,0
Родобриум розовидный	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0

Примечание. Рубка проведена в 1973 и 1983 гг. интенсивностью соответственно – 20 и 4% на ПП 11-2; 24 и 8% на ПП 11-3; удобрение (доза 150 кг/га) вносили весной 1973 и 1983 гг. на ПП 11-3.

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в сосняке черничном влажном ПП серии 5 через 7 и 16 лет после начала опыта  
с рубками ухода и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %					
	1978 г.			1987 г.		
	ПП 5-1	ПП 5-2	ПП 5-3	ПП 5-1	ПП 5-2	ПП 5-3
<b><i>Травяно-кустарничковый</i></b>	<b>62,1</b>	<b>64,8</b>	<b>64,5</b>	<b>41,8</b>	<b>32,9</b>	<b>42,6</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>60,7</b>	<b>60,2</b>	<b>54,3</b>	<b>37,8</b>	<b>29,5</b>	<b>30,5</b>
Брусника	6,2	8,6	7,7	1,3	2,1	1,6
Вереск обыкновенный	0,4	0,2	0,0	0,2	1,4	0,0
Голубика	0,1	0,8	1,2	0,1	2,1	0,1
Черника	54,0	50,6	45,4	36,2	23,9	28,8
<b>Травы</b>	<b>1,4</b>	<b>4,6</b>	<b>10,2</b>	<b>4,0</b>	<b>3,4</b>	<b>12,1</b>
Вейник лесной	0,0	0,0	1,2	+	0,0	1,9
Луговик дернистый	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	3,3
Луговик извилистый	1,3	0,0	2,3	2,1	0,0	0,6
Осока пальчатая	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Осока шарообразная	0,1	4,1	3,6	0,3	1,1	1,2
Осока черная	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	3,0
Ожика волосистая	0,0	0,0	0,0	0,2	+	+
Пушица влагалищная	0,0	0,4	2,6	0,0	0,3	0,0
Ситник нитевидный	0,0	0,1	0,0	0,1	+	1,0
Марьяник луговой	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,7
Седмичник европейский	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+
Хвощ лесной	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Щитовник игольчатый	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+
<b><i>Моховой ярус</i></b>	<b>94,0</b>	<b>88,0</b>	<b>88,0</b>	<b>96,0</b>	<b>100,0</b>	<b>98,0</b>
Аулякомниум болотный	0,0	0,0	0,0	0,5	2,7	2,2
Брахитециум неровный	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
Дикранум метловидный	6,3	1,2	1,0	3,2	0,0	0,0
Дикранум многоножковый	6,9	0,8	0,2	11,8	1,5	0,4
Плевроциум Шребера	49,3	25,9	15,2	25,7	10,9	10,1
Политрихум обыкновенный	11,6	27,5	44,8	16,6	16,0	16,7
Сфагнум рекурвум	18,8	31,6	25,0	23,0	55,0	52,1
Сфагнум остролистный	1,0	1,0	1,8	14,2	13,9	15,5

Примечание. Рубка проведена в 1971 и 1981 гг. интенсивностью соответственно – 41 и 15% на ПП 5-2, 34 и 14% на ПП-3; удобрения (150 кг/га по д.в.) внесены весной 1972 и 1982 гг. на ПП 5-3.



**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в сосняке черничном влажном ПП серии 12 через 6 и 16 лет после начала опыта  
с рубками ухода и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %					
	1979 г.			1989 г.		
	ПП 12-1	ПП 12-2	ПП 12-3	ПП 12-1	ПП 12-2	ПП 12-3
<b>Травяно-кустарничковый ярус</b>	<b>87,0</b>	<b>85,1</b>	<b>98,4</b>	<b>99,2</b>	<b>93,5</b>	<b>59,0</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>47,1</b>	<b>60,3</b>	<b>72,4</b>	<b>39,6</b>	<b>57,5</b>	<b>42,7</b>
Багульник болотный	0,4	1,4	4,0	0,0	1,2	0,3
Брусника	16,5	15,9	5,6	13,2	6,4	2,8
Вереск обыкновенный	1,0	1,3	3,2	0,4	0,3	0,2
Голубика	2,0	6,0	12,6	0,3	9,0	5,1
Кассандра	0,0	0,8	0,0	0,0	+	0,0
Подбел	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Черника	27,2	34,9	47,0	25,6	40,6	34,3
<b>Травы</b>	<b>39,9</b>	<b>24,8</b>	<b>26,0</b>	<b>59,6</b>	<b>36,0</b>	<b>16,3</b>
Вейник лесной	13,8	5,6	0,0	8,8	0,0	0,0
Луговик извилистый	23,6	13,2	1,5	41,9	27,1	7,6
Осока шарообразная	1,5	5,2	24,5	0,4	1,9	3,0
Осока черная	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	4,0
Ожика волосистая	0,0	0,0	0,0	0,5	+	0,0
Марьяник луговой	+	+	+	2,3	3,2	1,0
Майник двулистный	0,0	0,0	0,0	1,9	+	0,0
Плаун годичный	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Седмичник европейский	1,0	0,8	0,0	3,2	1,9	+
Хвощ лесной		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щитовник иголец	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
<b>Моховой ярус</b>	<b>80,0</b>	<b>81,0</b>	<b>59,0</b>	<b>69,0</b>	<b>84,0</b>	<b>94,0</b>
Аулякомниум болотный	0,0	0,0	0,0	1,5	1,4	0,0
Брахитециум неровный	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,2
Гилокомиум блестящий	2,8	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0
Дикранум многоножковый	17,2	9,6	1,7	14,0	5,6	10,5
Плевроциум Шребера	31,6	24,1	17,8	9,2	19,9	9,9
Плагитоциум лесной	0,5	0,0	0,0	1,1	0,0	2,5
Птилиум гребенчатый	+	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Политрихум обыкновенный	4,6	4,0	1,0	5,5	4,2	5,2
Сфагнум рекурвум	23,3	43,3	38,5	34,5	52,9	65,7

Примечание. Рубка проведена в 1974 г. интенсивностью 30% на ПП 12-2 и 31% на 12-3; удобрения внесены весной 1974 и 1979 гг. в дозе 150 кг/га на ПП 12-3.

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в сосняке брусничном ПП 6-3, 6-2 и 6-6 через 17 лет и 34 года после начала опыта  
с рубками ухода и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %					
	1989 г.			2005 г.		
	ПП 6-3	ПП 6-2	ПП 6-6	ПП 6-3	ПП 6-2	ПП 6-6
<b><i>Травяно-кустарничковый</i></b>	<b>57,2</b>	<b>122,0</b>	<b>107,4</b>	<b>62,3</b>	<b>63,8</b>	<b>62,1</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>48,4</b>	<b>65,8</b>	<b>28,5</b>	<b>45,4</b>	<b>42,3</b>	<b>37,6</b>
Багульник болотный	0,0	1,8	0,0	0,0	+	0,0
Брусника	18,4	13,8	5,4	3,9	3,2	6,3
Вереск обыкновенный	1,8	0,4	1,4	0,2	0,8	1,3
Голубика	0,0	1,6	0,0	0,0	1,8	0,0
Черника	28,2	48,2	21,7	41,3	36,5	30,0
<b>Травы</b>	<b>8,8</b>	<b>56,2</b>	<b>78,9</b>	<b>16,9</b>	<b>21,5</b>	<b>24,5</b>
Вейник лесной	0,0	5,8	0,5	0,0	0,7	1,5
Луговик извилистый	3,2	38,8	60,0	9,1	10,5	14,5
Ожика волосистая	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	+
Марьяник луговой	5,6	11,6	15,6	5,9	9,0	7,0
Майник двулистный	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	+
Плаун годичный	0,0	0,0	1,2	0,8	0,0	1,5
Седмичник европейский	0,0	0,0	0,0	0,7	1,3	+
<b><i>Моховой ярус</i></b>	<b>99,0</b>	<b>82,0</b>	<b>58,0</b>	<b>37,4</b>	<b>36,3</b>	<b>37,2</b>
Брахитециум неровный	0,0	0,2	3,3	1,0	0,0	+
Гилокомиум блестящий	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	+
Дикранум многоножковый	57,8	65,6	25,3	36,1	36,0	37,2
Плевроциум Шребера	41,2	14,7	20,9			
Птилиум гребенчатый	0,0	1,5	8,0			
Политрихум обыкновенный	0,0	+	0,0	0,3	0,3	0,0

Примечание. Рубка проведена в 1971 г. интенсивностью на ПП 6-2 – 36%, на ПП 6-6 – 27%; удобрения в дозе 150 кг/га по д.в. внесены весной на ПП 6-6 в 1972 и 1982 гг.

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в сосняке брусничном ПП 6-3, 6-9 и 6-5 через 17 лет и 34 года после начала опыта  
с рубками ухода и комплексным уходом за лесом**

Ярус, вид растения	Проективное покрытие, %					
	1989 г.			2005 г.		
	ПП 6-3	ПП 6-9	ПП 6-5	ПП 6-3	ПП 6-9	ПП 6-5
<b><i>Травяно-кустарничковый</i></b>	<b>57,2</b>	<b>115,8</b>	<b>113,6</b>	<b>62,3</b>	<b>64,4</b>	<b>68,7</b>
<b>Кустарнички</b>	<b>48,4</b>	<b>51,9</b>	<b>35,5</b>	<b>45,4</b>	<b>28,8</b>	<b>41,0</b>
Брусника	18,4	22,9	5,7	3,9	1,5	4,5
Вереск обыкновенный	1,8	0,0	2,8	0,2	0,0	0,2
Черника	28,2	29,0	27,0	41,3	27,3	36,3
<b>Травы</b>	<b>8,8</b>	<b>53,9</b>	<b>81,1</b>	<b>16,9</b>	<b>25,6</b>	<b>27,7</b>
Вейник лесной	0,0	10,8	5,1	0,0	3,3	0,8
Луговик извилистый	3,2	39,8	65,2	9,1	19,0	15,0
Ожика волосистая	0,0	0,2	0,0	0,0	+	0,0
Иван-чай	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,1
Марьяник луговой	5,6	9,8	6,0	5,9	7,0	9,6
Майник двулистный	0,0	1,6	1,0	0,4	0,5	0,4
Плаун годовой	0,0	0,5	0,0	0,8	0,5	0,0
Седмичник европейский	0,0	1,2	0,8	0,7	5,3	1,9
<b><i>Моховой ярус</i></b>	<b>99,0</b>	<b>81,5</b>	<b>33,0</b>	<b>37,4</b>	<b>33,8</b>	<b>32,6</b>
Брахитециум неровный	0,0	1,5	3,8	1,0	1,5	0,3
Гилокомиум блестящий	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	+
Дикранум многоножковый	57,8	33,5	19,2	36,1	32,3	32,3
Плевроциум Шребера	41,2	38,0	6,4			
Птилиум гребенчатый	0,0	8,5	2,9			
Политрихум обыкновенный	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	+
Политрихум приальпийский	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	+

Примечания:

1. Рубка проведена в 1971 г. интенсивностью на ПП 6-9 – 49%, на ПП 6-5 – 32%; удобрения в дозе 150 кг/га по д.в. внесены весной на ПП 6-5 в 1972, 1977 и 1982 гг.

2. Учет живого напочвенного покрова до 2005 г. осуществлен сотрудниками лаборатории лесоводства ЛенНИИЛХ Баневой Н.А. и Мельниковым Е.С. Учетные работы в сосняках в 2005 г. выполнены при участии автора.

Научное издание

**Беляева** Наталия Валерьевна  
**Данилов** Дмитрий Александрович

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СОСНОВЫХ И ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ОБЪЕКТАХ  
РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ**

*Отпечатано в авторской редакции с готового оригинал-макета*

---

Подписано в печать с оригинал-макета  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Уч.-изд. л. 10,0. Печ. л. 10,0. Тираж 100 экз.

---